

Unfallmechanismen, Begleitverletzungen, Therapieoptionen und Outcome bei
Armfrakturen im Kindesalter – eine retrospektive Studie an der Klinik für
Kinderchirurgie der Universitätsklinik Jena

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Franziska Regine Bürglen
geboren am 26.06.1984 in Finsterwalde

Gutachter:

1. Fr. Prof. Dr. med. F. Eckoldt-Wolke
2. Hr. Prof. Dr. med. W. Barthlen
3. Hr. Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. G. Hofmann

Tag der öffentlichen Verteidigung: 04.09.2012

Abkürzungsverzeichnis

i. Arteria

AO-Klassifikation	Von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen 1985 erarbeitete Klassifikation von Frakturen
dist.	Distal
ECMES	Embrochage centromedullare elastique stable
ESIN	Elastisch stabile intramedulläre Nagelung
KiGGS	Kinder- und Jugendgesundheitssurvey des Robert-Koch-Institutes im Auftrag des Bundesgesundheitsministeriums
<i>Lig.</i>	<i>Ligamentum</i>
MRT	Magnetresonanztomographie
<i>A.</i>	<i>Nervus</i>
prox.	Proximal
<i>Proc.</i>	<i>Processus</i>
<i>V.</i>	<i>Vena</i>

Zusammenfassung

Armfrakturen sind im Kindesalter ein häufiges Krankheitsbild, mit dem Ärzte in erster Linie akut in der Notaufnahme oder ambulanten Sprechstunde konfrontiert werden. Es ist wichtig, auf das Kind als besonderen Patienten einzugehen. Die Anamneseerhebung, die Untersuchung und auch die Therapie sind stark altersabhängig. Oft sind Therapieschemata routiniert und eingeschliffen und der wachsende Knochen unterstützt den Heilungsprozess. Doch gerade bei den Kindern ist es, im Hinblick auf deren spätere Entwicklung wichtig, Therapieoptionen ständig zu hinterfragen und zu verbessern.

Auch gängige Fachzeitschriften und Kongresse beschäftigen sich mit diesem Thema und beleuchten in letzter Zeit zunehmend die als besonders kindgerecht geltende Methode der elastisch-stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) an langen Röhrenknochen, wie z.B. an der oberen Extremität.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Patientenakten von 148 Kindern im Zeitraum vom 04.01.2007 bis zum 19.05.2008 auf Pathogenese und Therapie von insgesamt 159 Frakturen retrospektiv untersucht. Der ausschließliche Fokus lag auf Frakturen von *Humerus*, *Radius* und *Ulna* sowie Beteiligung des Ellenbogengelenks. Dazu wurden Informationen zum Unfallgeschehen, Frakturbeschreibungen und Therapieverläufe aus Krankenblättern, Arztbriefen, OP-Berichten und Röntgenbefunden erhoben. Diese wurden mit Hilfe des Programms SPSS ausgewertet und auf folgende Parameter untersucht: Alter und Geschlecht des Patienten, Unfallort und Unfallhergang, Art, Seite und Lokalisation der Fraktur, Therapieoptionen und Outcome. Besonderes Augenmerk lag auch auf der oben genannten chirurgisch-operativen Therapie der ESIN.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen einerseits den Ärzten und der Klinik als Feedback und andererseits Patienten und Eltern als Informations- und Vertrauensbasis dienen.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit lässt sich ersehen, dass besonders Jungen im Grundschulalter in Unfälle verwickelt sind, aus welchen Frakturen der oberen Extremität resultieren.

Die behandelten Patienten wiesen alle typischen Frakturverläufe auf. Den größten Anteil machten die Querfrakturen aus. Aber auch die für das Kindesalter typischen

Brüche wie Grünholz- und Stauchungsbrüche sowie supracondyläre Frakturen waren erwartungsgemäß und wie in der Literatur beschrieben (Weinberg et al. 2002, von Laer 2007) häufig vertreten. Der überwiegende Teil der Patienten konnte konservativ versorgt werden. Bei einem Anteil von 17 % war operatives Vorgehen angezeigt. Dabei kamen vor allem kindgerechte und möglichst minimalinvasive Verfahren zum Einsatz.

Das Outcome stellte sich durchaus zufriedenstellend dar. In 17 % aller Fälle traten Spätfolgen nach abgeschlossener Behandlung, sowohl nach konservativer als auch nach operativer, auf. Zum großen Teil stellten sich diese in Form von Bewegungseinschränkungen dar, welche, über einen längeren Zeitraum gesehen, mit großer Wahrscheinlichkeit, wie in der Literatur (Zionts et al. 2009) beschrieben, bei regelmäßiger alltäglicher Beanspruchung selbstständig regredient sind.

Der Vergleich mit einer ähnlichen Untersuchung aus den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts zeigte eine Persistenz des typischen Patientengutes im Bezug auf die Häufigkeiten und Altersverteilung. Lediglich in der Örtlichkeit des Unfallgeschehens zeigten sich Veränderungen. Damals geschahen die Unfälle zumeist beim Spielen draußen in der Freizeit - heute hingegen zum größten Teil im Haushalt oder (Vereins-)Sport.

Die Indikation zur operativen Therapie wird in Jena heute deutlich häufiger gestellt. Unter den Osteosyntheseverfahren nimmt die ESIN in dieser Untersuchung an der Klinik für Kinderchirurgie einen wichtigen Platz ein.

Dadurch, dass eine Vergleichbarkeit der Nachuntersuchungen nicht gegeben ist, lassen sich keine verlässlichen Aussagen über aufgetretene Spätfolgen treffen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vorliegende Arbeit die Empfehlung der elastisch-stabilen intramedullären Nagelung als operative Therapieoption von anderen Arbeiten (Knorr et al. 2005, Lieber et al. 2005, Weinberg et al. 2008) bestätigt.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	3
ZUSAMMENFASSUNG.....	4
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	8
TABELLENVERZEICHNIS.....	9
1. EINFÜHRUNG.....	10
1.1. EINLEITUNG.....	10
1.1.1 Anatomie der oberen Extremität.....	11
1.2. KINDLICHER KNOCHEN.....	14
1.2.1 Knochenwachstum.....	14
1.2.2 Epiphysenfuge.....	15
1.2.3 Korrekturmechanismen.....	16
1.2.4 Konsolidation.....	19
1.3 SPEZIELLE FRAKTUREN IM KINDESALTER.....	20
1.4 KLASSIFIKATION VON FRAKTUREN.....	21
2. THERAPIEMÖGLICHKEITEN.....	25
2.1 KONSERVATIVE THERAPIEMÖGLICHKEITEN.....	25
2.2 OPERATIVE THERAPIEMÖGLICHKEITEN.....	26
2.3 SPEZIELLE THERAPIEOPTIONEN.....	28
2.3.1 Proximaler Humerus/ Subcapitale Humerusfrakturen.....	28
2.3.2 Diaphysärer Humerus.....	29
2.3.3 Distaler Humerus/ Supracondyläre Humerusfrakturen.....	30
2.3.4 Transcondylärer Humerus/ Y-Fraktur.....	33
2.3.5 Frakturen des lateralen Condylus/ Condylus radialis humeri.....	33
2.3.6 Frakturen des medialen Condylus/ Condylus ulnaris humeri.....	35
2.3.7 Frakturen der Epicondylen/ Epicondylus radialis et ulnaris humeri.....	35
2.3.8 Monteggia – Läsion.....	36
2.3.9 Proximaler Unterarm/ Radiusköpfchen-Fraktur.....	36
2.3.10 Proximaler Unterarm/ Olecranon-Fraktur.....	37
2.3.11 Unterarmschaftfrakturen/ Radius und Ulna diaphysär.....	37
2.3.12 Distale Unterarmfrakturen.....	39
3. ZIELSTELLUNG.....	41
4. MATERIAL UND METHODE.....	42
4.1 PATIENTENGUT.....	42
4.2 METHODE DER DATENERFASSUNG.....	42
5. ERGEBNISSE.....	44
5.1 AUFTEILUNG DES PATIENTENGUTES.....	44
5.1.1 Altersverteilung bei Armfrakturen.....	44
5.1.2 Geschlechterverteilung bei Armfrakturen.....	45
5.2 UNFALLMECHANISMEN.....	46
5.2.1 Unfallhergang.....	46
5.3 VERTEILUNG DER FRAKTURARTEN UND LOKALISATIONEN.....	47
5.4 VERSORGUNG DER ARMFRAKTUREN.....	49
5.4.1 Konservativ behandelte Frakturen.....	49
5.4.2 Operativ behandelte Frakturen.....	50
5.4.3 Häufigkeit aufgetretener Spätfolgen.....	52
5.5 BEGLEITVERLETZUNGEN.....	53

5.6 ANALYSE DER PATIENTENDATEN NACH FRAKTURLOKALISATIONEN.....	53
5.6.1 <i>Frakturen am proximalen Humerus</i>	53
5.6.2 <i>Frakturen am distalen Humerus</i>	54
5.6.3 <i>Frakturen am proximalen Unterarm</i>	55
5.6.4 <i>Frakturen des gesamten Unterarmschaftes</i>	56
5.6.5 <i>Frakturen am distalen Unterarm</i>	57
5.7 INDIKATIONSSTELLUNG ZUR OPERATIVEN VERSORGUNG.....	58
5.8 ANALYSE DES OUTCOMES DER VERSORGTE KINDLICHEN FRAKTUREN.....	63
6. DISKUSSION.....	64
6.1 FRAKTURDATEN.....	66
6.2 FRAKTURLOKALISATIONEN.....	70
6.2.1 <i>Proximaler Humerus</i>	70
6.2.2 <i>Distaler Humerus/ Supracondyläre Frakturen</i>	71
6.2.3 <i>Komplette Unterarmschaftfrakturen</i>	73
6.2.4 <i>Distale Radiusfrakturen</i>	73
6.3 VERGLEICH MIT DATENERHEBUNG AN DER KLINIK FÜR KINDERCHIRURGIE IN JENA 1969-1979 ÜBER AMBULANT UND STATIONÄR VERSORGTE UNTERARMFRAKTUREN.....	74
6.4 DIE ELASTISCH STABILE INTRAMEDULLÄRE NAGELUNG (ESIN) – EIN ERFOLG?.....	76
6.5 LIMITATIONEN DER DATENANALYSE.....	77
6.5.1 <i>Fehlerquellen</i>	78
7. SCHLUSSFOLGERUNG.....	80
LITERATURVERZEICHNIS.....	82
ANHANG.....	83
LEBENS LAUF.....	83
DANKSAGUNG.....	84
EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG.....	85

Abbildungsverzeichnis

<u>ABBILDUNG 1: BAU DER EPIPHYSENFUGE (SCHÜNKE 2000).....</u>	<u>15</u>
<u>ABBILDUNG 2: DARSTELLUNG DER ZUG- UND DRUCKTRAJEKTORIEN AM BEISPIEL DES PROX. FEMURS (RÖSSLER ET AL. 2007). MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG DES ELSEVIER VERLAGES.....</u>	<u>17</u>
<u>ABBILDUNG 3: KLASSIFIKATIONEN VON GELENKFRAKTUREN</u>	<u>22</u>
<u>ABBILDUNG 4: KLASSIFIKATION DER SUPRACONDYLÄREN FRAKTUREN NACH VON LAER.....</u>	<u>24</u>
<u>ABBILDUNG 5: OBERARMSPIRALFRAKTUR (AO12-A2) RECHTS EINES 6 MONATE ALTEN SÄUGLINGS (MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON PROF. MENZEL, INSTITUT FÜR KINDERRADIOLOGIE, UNI JENA).....</u>	<u>29</u>
<u>ABBILDUNG 6: AUFTRETEN / VERSCHMELZUNG DER KNOCHENKERNE IM ELLENBOGENGELENKSBEREICH IN LEBENSJAHREN.....</u>	<u>31</u>
<u>ABBILDUNG 7: KIRSCHNER-DRAHTSPICKUNG EINER SUPRACONDYLÄREN FRAKTUR (MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON PROF. MENZEL, INSTITUT FÜR KINDERRADIOLOGIE, UNI JENA).....</u>	<u>33</u>
<u>ABBILDUNG 8: SCHALENFÖRMIGE METAPHYSÄRE ABRISSEFRAKTUR AM EPICONDYLUS RADIALIS HUMERI BEI 7-JÄHRIGEM KIND, VERLAUFSKONTROLLE NACH EINEM MONAT (MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON PROF. MENZEL, INSTITUT FÜR KINDERRADIOLOGIE, UNI JENA).....</u>	<u>35</u>
<u>ABBILDUNG 9: DIAPHYSÄRE UNTERARMSCHAFTFRAKTUR NACH OPERATIVER VERSORGUNG MITTELS ESIN (MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON PROF. MENZEL, INSTITUT FÜR KINDERRADIOLOGIE, UNI JENA).....</u>	<u>39</u>
<u>ABBILDUNG 10: ALTERSVERTEILUNG ALLER UNTERSUCHTEN PATIENTEN</u>	<u>44</u>
<u>ABBILDUNG 11: GESCHLECHTSVERTEILUNG NACH ALTER IN JAHREN.....</u>	<u>45</u>
<u>ABBILDUNG 13: FRAKTURLOKALISATIONEN (N>4).....</u>	<u>48</u>
<u>ABBILDUNG 14: DISTALE RADIUSFRAKTUR MIT KIRSCHNER-DRAHT- SPICKUNG UND FIXATEUR EXTERNE (MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON PROF. MENZEL, INSTITUT FÜR KINDERRADIOLOGIE, UNI JENA).....</u>	<u>51</u>
<u>ABBILDUNG 15: SUPRACONDYLÄRE TRÜMMERFRAKTUR MIT SCHRAUBEN- UND PLATTENOSTEOSYNTHESE (MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON PROF. MENZEL, INSTITUT FÜR KINDERRADIOLOGIE, UNI JENA).....</u>	<u>52</u>
<u>ABBILDUNG 16: VERTEILUNG DER THERAPIEVERFAHREN.....</u>	<u>59</u>

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: VERTEILUNG DER FRAKTURARTEN NACH IHRER HÄUFIGKEIT	49
TABELLE 2: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG VON AUFGETRETENEN SPÄTFOLGEN NACH DIST. UNTERARMFRAKTUREN.....	58
TABELLE 3: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER OPERATIV VERSORGTE FRAKTURLOKALISATIONEN.....	60
TABELLE 4: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER OPERATIV VERSORGTE FRAKTURARTEN.....	60
TABELLE 5: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER OPERATIVEN VERSORGUNG MIT ESIN NACH FRAKTURLOKALISATION.....	61
TABELLE 6: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER KIRSCHNER-DRAHT- VERSORGUNG NACH FRAKTURLOKALISATION.....	63
TABELLE 7: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER KONSERVATIVEN THERAPIESCHEMATA BEI VERSCHIEDENEN FRAKTURARTEN.....	68
TABELLE 8: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG AUFGETRETENER SPÄTFOLGEN DER KONSERVATIVEN THERAPIESCHEMATA.....	69
TABELLE 9: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG AUFGETRETENER SPÄTFOLGEN BEI OPERATIVER THERAPIE.....	69

1. Einführung

1.1. Einleitung

„Es kommt darauf an, die Kinder zu verstehen und sie erkennend lieben zu lernen.“ Dieses Zitat Hermann Hesses (1877-1962) hat sowohl zeitlose Gültigkeit als auch durchaus medizinischen Bezug. Denn auf das Erkennen und auf das Verstehen kommt es bei der Behandlung von Kindern besonders an. Kinder haben ein höheres Unfall- und Verletzungsrisiko als Erwachsene. Sie lernen durch Ausprobieren und Kopieren und haben einen natürlichen Drang sich zu bewegen und die Umwelt zu erkunden. Dabei sind Verletzungen und auch Brüche keine Seltenheit (Hedström et al. 2010, Hempel 2006, Gesundheitsberichterstattung des Bundes 1998). Mit 10-25 % unter allen Verletzungen sind Frakturen bei Kindern die zweithäufigste Traumafolge (Linhardt et al. 2005). Diese bedürfen einer, an die Eigenheiten des wachsenden Körpers angepassten, besonderen Therapie. Zudem stellen pädiatrische Polytraumata, besonders im Straßenverkehr, die häufigste Todesursache im Kindesalter dar (Jakob et al. 2010).

Das wachsende Skelett bietet ein enormes Potential an Korrekturmöglichkeiten dislozierter Knochenbrüche. Jedoch ist es wichtig, auch die Grenzen dieses Potentials zu kennen, und - mit auf den kindlichen Knochen abgestimmten Therapieverfahren - das Ausheilen der Fraktur zu unterstützen, ohne den Wachstumsprozess zu alterieren.

In dieser Arbeit soll zunächst in einem allgemeinen Teil auf die Besonderheiten des wachsenden Skelettes und seiner möglichen Frakturen eingegangen werden, vor allem in Hinblick auf die möglichen Therapieoptionen, im konservativen wie auch im operativen Sinne.

Im darauf folgenden speziellen Teil werden Daten zu Patienten dargestellt, die in der Klinik für Kinderchirurgie des Universitätsklinikums Jena mit Frakturen der oberen Extremitäten behandelt wurden. Diese sollen dann mit den Daten einiger ähnlicher Studien sowie einer Datenerhebung über kindliche Armfrakturen der Universität Jena aus dem Jahr 1984 verglichen werden. Die Zielsetzung dieser retrospektiven Studie ist es einerseits die Darstellung der Entstehung von kindlichen Armfrakturen sowie andererseits die in Jena praktizierten Therapieformen im Hinblick auf ihr Outcome und ihre Veränderungen innerhalb von mehr als 20 Jahren aufzuzeigen.

1.1.1 Anatomie der oberen Extremität

Die obere Extremität besteht an jeder Körperseite aus dem Schultergelenk (*Articulatio humeri*), dem Oberarmknochen (*Humerus*), dem Ellenbogengelenk (*Articulatio cubiti*), den Unterarmknochen Speiche (*Radius*) und Elle (*Ulna*) sowie der Hand. In dieser Arbeit wird nur auf *Humerus*, *Articulatio cubiti*, *Radius* und *Ulna* eingegangen. Die anatomischen Grundlagen sind Standardwerken der Anatomie (Schünke et al. 2005, Lippert 2003) entnommen.

Der *Humerus* ist ein langer Röhrenknochen mit dem proximalen *Caput humeri*, *Collum humeri* und einer langen Diaphyse, dem *Corpus humeri*. Im distalen Teil findet man die medialen und lateralen Epicondylen, welche als Muskelansatzstellen dienen und die *Fossa olecrani*, die Grube für den Ellenbogen. Der *Condylus humeri* wird ebenfalls in einen medialen und lateralen Anteil gegliedert und bildet den Gelenkkörper mit dem *Capitulum humeri*, gegenüber dem *Radius* und der *Trochlea humeri* zur *Ulna* hin.

Das Ellenbogengelenk wird anatomisch und funktionell in drei Teilgelenke gegliedert. Das *Articulatio humeroulnaris*, als Scharniergelenk zwischen *Humerus* und *Ulna*. Das *Articulatio humeroradialis*, als Drehscharniergelenk zwischen *Humerus* und *Radius*. Außerdem gibt es das *Articulatio radioulnaris proximalis*, welches als ein Radgelenk zwischen dem Radiusköpfchen und der *Incisura radialis ulnaris* imponiert und vom *Ligamentum anulare radii* gehalten wird.

Zur straffen Verbindung der beiden anderen Teilgelenke dienen das *Ligamentum collaterale ulnare* an der medialen Seite und das *Ligamentum collaterale radiale* an der lateralen Seite.

Als Scharniergelenk sind Streck- und Beugebewegungen des Unterarms gegenüber dem Oberarm möglich, nach der Neutral-Null-Methode 5-10° - 0° - 150° (Lippert 2003). Das Bewegungsausmaß wird im Wesentlichen von der Weichteilhemmung an Ober- und Unterarm limitiert. Das Drehgelenk ermöglicht die Supination und Pronation des Unterarms, nach der Neutral-Null-Methode etwa 90° - 0° - 90° (Lippert 2003).

Der *Radius* besteht von proximal nach distal aus *Caput*, *Collum* und *Corpus radii*, sowie dem *Processus styloideus radii*. Die *Ulna* wird proximal absteigend unterteilt in

Olecranon, *Incisura trochlearis*, *Corpus* und *Caput ulnae* sowie dem *Processus styloideus ulnae*. Die jeweilig distalen Anteile bilden mit dem *Os triquetum*, *Os lunatum* und *Os scaphoideum* gemeinsam das Handgelenk.

Die beiden Unterarmknochen liegen eng beieinander. Ad- und Abduktion von der Längsachse des gestreckten Armes sowie ein Verschieben von *Radius* und *Ulna* gegeneinander, wird durch das *Ligamentum anulare radii* und die derbe *Membrana interossea antebrachii* verhindert.

Die arterielle Blutversorgung des Armes wird über die *A. axillaris* sichergestellt, welche in der Achselgegend in die *A. brachialis* übergeht. Zuvor gibt sie noch zwei, für die Versorgung des *Humerus* essentiellen Äste, die *A. circumflexa humeri posterior et anterior*, ab.

In der Schulter- und Oberarmregion gibt es für den Fall von chronischen Verschlüssen der *A. brachialis* Kollateralkreisläufe, wie zum Beispiel über die *A. profunda brachii* und die *Aa. collateralia ulnaris*, die die Durchblutung aufrecht erhalten. Im Falle von akuten Verschlüssen bzw. Verletzungen, welche besonders im Kindesalter bei supracondylären Humerusverletzungen auftreten können, droht die Ausbildung einer Volkmann'schen-Kontraktur. Diese manifestiert sich in hartem, druckempfindlichem Gewebe mit Ischämie-Zeichen, akuten starken Schmerzen und Bewegungseinschränkungen.

Im Bereich der Ellenbeuge zweigt sich die *A. brachialis* in die *A. radialis* und die *A. ulnaris* auf. Erstere verläuft direkt auf dem *Radius* entlang der Volarseite des Unterarms. Die *A. ulnaris* zieht sich ulnarseitig am Unterarm entlang zur Hand.

Die Venen begleiten die Arterien in den Gefäß-Nerven-Bündeln und sind auch nach diesen benannt. Zusätzlich gibt es feine dünne Hautarterien. Der Blutrückstrom verläuft am Arm über große Hautvenen, die zumeist sehr oberflächlich gelegen sind. Die großen Stämme der subkutanen Armvenen sind die *V. cephalica*, die *V. basilica* und die *V. mediana antebrachii*.

Die Nerven der oberen Extremität gehen aus dem *Plexus brachialis* hervor. In Hinblick auf Frakturen können sie einerseits in Folge von akuter Verletzung z.B. durch Knochenfragmente, oder auch chronischer Druckeinwirkung bei falsch angepassten Gipsverbänden oder inadäquater OP-Lagerung, geschädigt werden.

Aus den hinteren Aufteilungen des Nervenplexus stammen der *N. radialis* und der *N. axillaris*, welche zur Extensorenmuskulatur ziehen. Traumatische Nervenverletzungen werden nach Sunderland in verschiedene Schädigungsstufen unterteilt (Engelhardt et al. 2011):

Grad I: Dieser bezeichnet eine Neurapraxie, welche Stunden aber auch Wochen anhalten kann. Dabei handelt es sich um einen Leitungsblock ohne strukturelle Verletzung des Axons, wie zum Beispiel bei einer Schlafdruckparese.

Grad II: Grad II entspricht einer Axonotmesis, welche bei chronischen Kompressionssyndromen, wie dem Karpaltunnel-Syndrom vorkommt. In diesem Falle ist das Axon in seiner Kontinuität unterbrochen aber die Hülle bleibt erhalten.

Grad III: In diesem Fall liegt eine Verletzung des Axons sowie des Endoneuriums, der Nervenhülle, vor. Diese Art der Verletzung entsteht nach Zugverletzungen der Nerven, in deren Folge es zu Einblutungen und Narbenbildung kommt. Meist bleibt ein Funktionsverlust zurück.

Grad IV: Es handelt sich um eine Faszikelläsion. Die Regeneration ist schwieriger, da die Blut-Nerv-Schranke gestört ist. Diese Verletzung entsteht nach schweren stumpfen oder unvollständigen scharfen Durchtrennungen der peripheren Nerven.

Grad V: Grad V entspricht der Neurotmesis, bei totaler Durchtrennung aller Komponenten des Nerven durch scharfe Durchschneidung oder Zerreißung.

Der *N. radialis* ist besonders in Hinblick auf seine Topographie wichtig. Er steht im direkten Kontakt mit dem Humerusschaft und windet sich, im *Sulcus nervi radialis*, dorsal schraubenförmig um diesen. Der *N. radialis* kann in seinem gesamten Verlauf akut oder chronisch geschädigt werden. Chronische Druckeinwirkung, durch OP-Lagerung, Zug und Druck bei Repositionsmanövern und durch aus dem Knochen herausragendes Osteosynthesematerial, äußert sich meist in Kribbelparästhesien der Finger und ist nach wenigen Tagen rückläufig. Bei akuter Schädigung, vor allem des

proximalen Abschnittes, kann es zur sogenannten Fallhand, durch Ausfall der Extensorenmuskulatur kommen.

Zur Flexorenmuskulatur führen die Nerven aus den hinteren Aufteilungen des *Plexus brachialis*, der *N. ulnaris*, der *N. musculocutaneus* und der *N. medianus*.

Der *N. ulnaris* zieht, im *Sulcus nervi ulnaris*, dorsal um den *Epicondylus medialis* und liegt dort direkt subkutan. Bei traumatischer Schädigung dieses Nervens kann es zur sogenannten Krallenhand und zu Sensibilitätsstörungen, besonders im Bereich des Kleinfingers, kommen.

1.2. Kindlicher Knochen

1.2.1 Knochenwachstum

Das Kindes- und Jugendalter ist die Zeit des Knochenwachstums. Dabei geht das Dickenwachstum vom peri- und endostalen System und das Längenwachstum von den Epiphysenfugen aus. Störungen des Dickenwachstums sind eher selten und resultieren meist in der Bildung von Pseudarthrosen. Deutlich häufiger hingegen ist, vor allem nach Frakturen mit Gelenkbeteiligung bei Kindern, das Längenwachstum gestört (von Laer 2007). Dies manifestiert sich in Längendifferenzen zur kontralateralen Extremität und zu Fehlstellungen, welche zu Funktionseinschränkungen, etwa bei Pro- und Supinationsbewegungen im Unterarm, führen.

Kindlicher Knochen unterscheidet sich in wesentlichen Merkmalen vom Ausgewachsenen. Erstens verfügt er über ein weiches, biegsames und dickes Periost. Des Weiteren ist kindlicher Knochen einem dynamischen Wachstum in Länge und Breite unterlegen. Dieses birgt in unterschiedlichem Maße Ausgleichspotential für laterale Verschiebungen und Achsabweichungen. Zum anderen ist beim Kind die Epiphysenfuge noch offen. Ist sie an Frakturen mitbeteiligt, so ist das Risiko für posttraumatische Wachstumsstörungen und somit für das Entstehen von Fehlstellungen und Bewegungseinschränkungen erhöht (von Laer 2007).

1.2.2 Epiphysenfuge

Die in der Kindheit noch weit offene Epiphysenfuge bildet einen guten Puffer für axiale Traumata und schützt dadurch das Gelenk. Jedoch bietet sie gegenüber Scher- und Biegunskräften wenig Halt und Widerstandskraft. So kann es bei orthogonaler Krafteinwirkung zu Verletzungen der Epiphysenfuge kommen (von Laer 2007). Davon ist aber meist nur der Anteil der Fuge betroffen, welcher nicht selbst proliferativ tätig ist. Der für die Proliferation hauptsächlich verantwortliche epiphysäre Teil bleibt meist unverletzt (von Laer 2007). Der Aufbau einer Epiphyse während des Knochenwachstums ist in Abbildung 1 (Seite 15) dargestellt.

Bei noch offenen Fugen ist der Ansatz der Bänder und Muskelsehnen noch vulnerabler als bei geschlossenen Fugen. Dadurch bedingt kommt es im Wachstumsalter häufiger zu Luxationsfrakturen und Bandausrissen. Nach Verschluss der Fugen treten dann, bei fixiertem Ansatz, Bandrupturen und Luxationen im Gelenk in den Vordergrund (von Laer 2007).

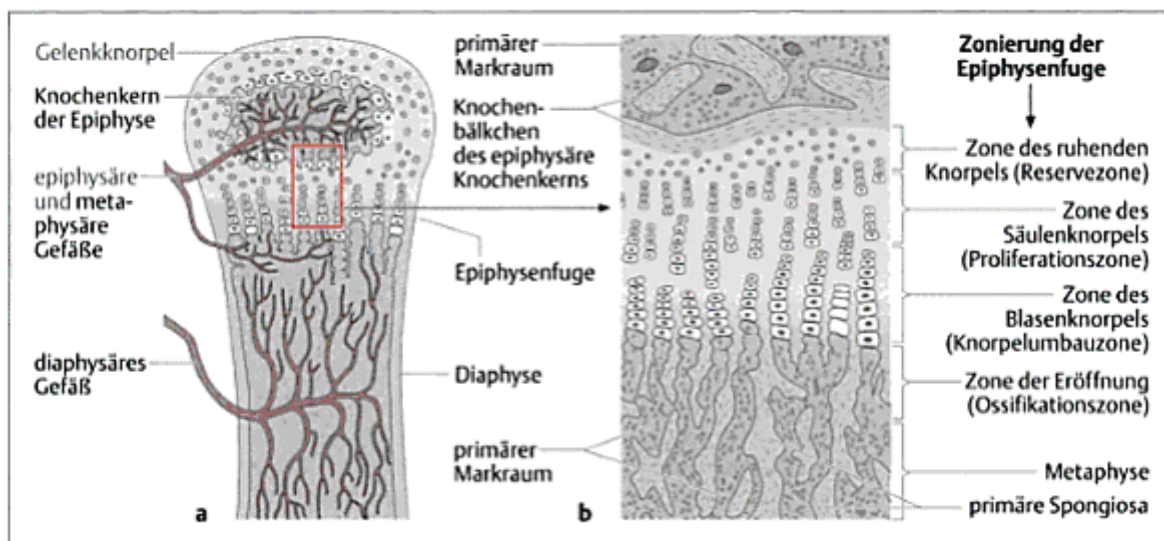


Abbildung 1: Bau der Epiphysenfuge (Schünke 2000)

Die physiologische Fugenreife teilt von Laer in drei Stadien ein (von Laer 2007):

Stadium I: Wachstumsstadium (bis zum 10. oder 12. Lebensjahr, je nach Geschlecht)

In dieser Phase halten sich Proliferations- und Mineralisierungsvorgänge die Waage.

Stadium II: Ruhepause (in der Pubertät)

Durch hormonelle Einflüsse kommt es, kurz vor Wachstumsabschluss, zur Unterbrechung des Reifungsprozesses. Jetzt finden keine Proliferationsvorgänge mehr statt, die Mineralisation ist ebenfalls noch nicht vollständig ausgeprägt. Es kann, unter Einfluss von Stimuli, die weitere Proliferation wieder aufgenommen werden.

Stadium III: Verschlussphase (jenseits des 17./18. Lebensjahres, je nach Geschlecht)

Die Proliferation sistiert nun gänzlich. Die exzentrisch beginnende Mineralisierung schreitet fort bis zur vollständigen Verschmelzung von Meta- und Epiphyse.

Die Epiphysenfugen der einzelnen langen Röhrenknochen des kindlichen Skelettes sind zu unterschiedlichen Anteilen am Wachstum beteiligt. An der oberen Extremität trägt die proximale Humerusfuge 80 % und die distale 20 % zum Längenwachstum bei (Täger et al. 2007). Am Unterarm ist es umgekehrt. Dort sind die jeweils distalen Epiphysenfugen von Radius und Ulna mit 80 % vorrangig am Wachstum beteiligt. So haben Frakturen mit Achsabweichung, in Nähe einer Epiphyse mit hohem Wachstumspotential, die besten Korrekturmöglichkeiten.

Wachstumsstörungen kommen nur vor, wenn die verletzte Fuge noch offen ist (Stadium I). Bei Verletzungen in den Stadien II und III ist nicht mehr mit dem Entstehen klinisch relevanter Störungen zu rechnen. Somit hängt, nach von Laer, das Auftreten einer Wachstumsstörung weniger vom anatomischen Ort der Fraktur und dem kalendarischen Alter, als mehr vom individuellen Skelettreifezustand des kleinen Patienten beim Unfall ab (von Laer 2001).

1.2.3 Korrekturmechanismen

Das Skelett im Kindes- und Jugendalter hat die erstaunliche Fähigkeit, Abweichungen der Anatomie in Folge von Frakturen im Zuge des Knochenwachstums selbst wieder auszugleichen. Dies ist grundsätzlich in allen drei

Ebenen des Raumes möglich. Unterschieden werden Seit-zu-Seit-Verschiebungen, Achsenknicke (*Varus*, *Valgus*, *Ante-* und *Rekursion*) sowie Rotationsfehler.

In diesem physiologischen Prozess, auch Remodeling genannt, werden Strukturschäden durch kleine Bewegungen bei alltäglicher Belastung repariert und die Knochenarchitektur entsprechend angepasst. So reagiert der Knochen auf wechselnde Beanspruchung. Die Einwirkungen von Zug- und Druckkräften, die sich durch Trajektorien verdeutlichen lassen, sind maßgeblich für die Anpassung der Mikroarchitektur des Knochens, dem Trabekelwerk verantwortlich. In Abbildung 2 (Seite 17) sind diese Trajektorien und ihre Beziehung zur einwirkenden Kraft schematisch veranschaulicht. Außerdem zeigt sie, wie sich die Strukturen der Knochenarchitektur auch im Röntgenbild darstellen lassen.

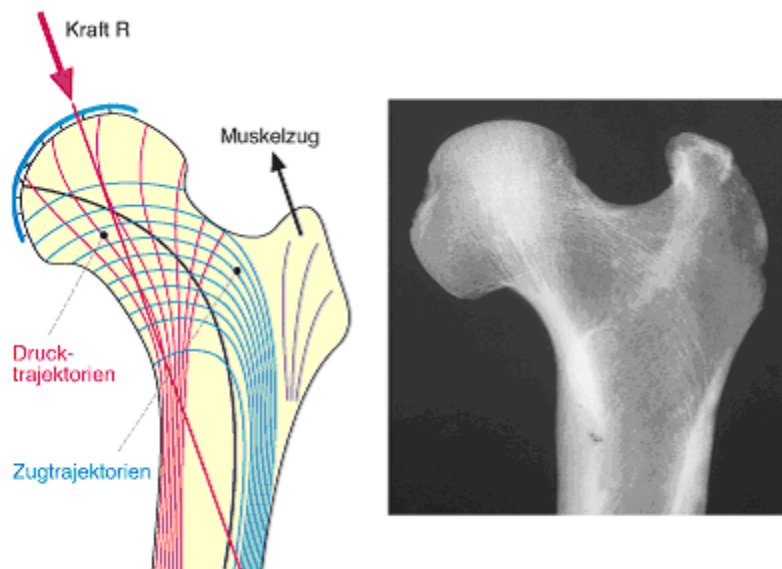


Abbildung 2: Darstellung der Zug- und Drucktrajektorien am Beispiel des prox. Femurs (Rössler et al. 2007). Mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages.

Der Knochenumbau übernimmt auch die Wiederherstellung von voll funktionsfähigem Knochen bei der Frakturheilung. Der Kallus wird durch Osteoblasten und Kalzifizierung nach und nach durch voll belastbaren Knochen ersetzt.

Dieser Umbau kann zum Einen am Periost erfolgen. Dabei findet ein gezielter periostaler Anbau an der Seite der höheren Druckbeanspruchung neben endostaler Abbau an der minderbeanspruchten Seite statt.

Des Weiteren kann die Reaktion des Knochens auf wechselnde Beanspruchung auch durch Korrekturmechanismen der Epiphysenfugen erfolgen.

Dort wird ausgleichend gewirkt durch vermehrte Proliferation auf der Seite des geringeren und verringerte Proliferation auf der Seite des höheren Druckes. Das geschieht so lange bis die Fuge sich wieder senkrecht zur Belastungsebene eingestellt hat und die Druckbelastung gleich ist (von Laer 2007). Für alle Mechanismen der körpereigenen Korrektur muss ein statischer oder funktioneller Korrekturanreiz vorhanden sein.

Seit-zu-Seit-Verschiebungen sind die ausschließliche Domäne peri- und endostaler Korrekturmechanismen, welche diese zuverlässig bis zu einem Alter von etwa 10-12 Jahren um volle Schaftbreite korrigieren.

Achsenabweichungen in der Frontal- und Sagittalebene werden kombiniert durch Einstellung der Epiphysenfuge und durch peri- und endostale An- und Abbauvorgänge korrigiert. Diese haben das höchste Potential bei einem Alter des Patienten von unter 10 Jahren. Außerdem ist die Korrekturfähigkeit hier abhängig von der Entfernung zu einer, wie schon Eingangs beschrieben, hoch- oder niedrigprozentig am Wachstum beteiligten Fuge und von der Ebene der Abweichung. Abweichungen in der Sagittalebene werden in der Regel besser toleriert als Abweichungen in der Frontalebene. Im Folgenden wird auf das jeweilige Korrekturpotential des kindlichen Skelettes an den typischen Frakturlokalisationen einzeln eingegangen.

Bei Grünholzfrakturen mit starkem Achsenknick von über 10° muss die ‚gesunde‘ Kortikalisseite mitgebrochen werden um eine Redislokation durch Periost- und Kortikaliszug zu verhindern (Willital 2000, von Laer 2007, Klohs et al. 2000).

Bei Verkürzungen nach Frakturen findet ein ungezielter, rein epiphysärer Korrekturmechanismus statt.

Die große Ausnahme im Bezug auf sein Korrekturpotential bildet der proximale *Radius*. Dort werden Achsabweichungen im großen Umfang ausgeglichen, obwohl die zugehörige Fuge mit nur 20 % am Wachstum beteiligt ist und kein Belastungsreiz für die Fuge besteht (von Laer et al. 2007, Klohs et al. 2000, Träger et al. 2007, Weise 2004). Andererseits werden dort bei Frakturen, unabhängig vom Alter, keinerlei Seit-zu-Seit-Verschiebungen korrigiert (von Laer 2007).

1.2.4 Konsolidation

Die Knochenheilung findet beim kindlichen Skelett zum größten Teil sekundär durch Kallusbildung statt. Zu Beginn bildet sich aus dem Frakturhämatom ein bindegewebsartiger Reiz- und Fixationskallus, welcher umso größer ist, je weiter die Achsabweichung, je geringer das Patientenalter und je größer die Unruhe in der Fraktur. Wenn dieser beginnt sich zu verknorpeln, stabilisiert sich die Fraktur zunehmend. In einer dritten Phase kommt es zum Einsprossen von Gefäßen und zum Einwandern von Chondroklasten, Osteoblasten und mesenchymalen Begleitzellen. Durch Umbau der Knorpelsubstanz zu Knochen ist die Ossifikation abgeschlossen.

Während dieser Umbauphasen wird die Fraktur von einem periostalen Abstützungskallus nach außen stabilisiert. Zuerst im Sinne einer Bewegungsstabilität und im weiteren Verlauf zunehmend als eine Stabilität unter Belastung. Unter Umständen kann es nach voller Belastung Monate dauern, bis dieser sich vollständig zurückgebildet hat und der Knochen seine ursprüngliche Form annimmt.

Radiologische Zeichen der bewegungsstabilen Fraktur ist die röntgendichte, kallöse Abstützung. Bei der Abbildung in zwei Ebenen muss der Frakturspalt an drei von vier dargestellten Anteilen der Kortikalis periostal überbrückt sein. Klinisch ist der Kallus indolent tastbar (Linhardt et al. 2005).

Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass ein möglichst homogener Durchbau der Fraktur aus einer gleichmäßigen Kallusbildung resultiert. Dies setzt eine gleichmäßige und konstante Druck- und Zugverteilung voraus. Diese Tatsache macht sich unter anderem die elastisch stabile Marknagelung, auf die später noch genauer eingegangen wird, zum Vorteil.

Besonders im Kindesalter sind die Frakturen mit Gelenkbeteiligung von großer Bedeutung, denn dabei verläuft die Frakturlinie oft durch die vulnerable Epiphysenfuge, woraus Wachstumsstörungen resultieren können (Täger et al. 2007). Es wird grundsätzlich zwischen Störungen mit Steigerung und Störungen mit Hemmung der Epiphysenfuge unterschieden (von Laer 2007). An der oberen Extremität treten vor allem stimulative Wachstumsstörungen auf. Diese können, je nachdem in welcher Phase der Fugenreifung sie auftreten, entweder zu Verlängerung, Verkürzung oder Angleichung der Knochenlänge an die kontralaterale Seite führen.

1.3 Spezielle Frakturen im Kindesalter

Aus der speziellen Anatomie und Physiologie des wachsenden Knochens ergeben sich hinsichtlich verschiedener Frakturen einige Besonderheiten.

Kleinkinder verfügen noch über den sehr elastischen, stammesgeschichtlich älteren Geflechtknochen. Dieser wird im Zuge des Wachstums in den calciumreichen, stabileren Lamellenknochen umgebaut (Lippert 2003).

Bis dahin sind kindliche Röhrenknochen sehr biegsam und durch ein dickes Periost ummantelt. Dies lässt die Entstehung von Frakturen ohne völlige Kontinuitätsunterbrechung, wie Grünholz- und Wulstfrakturen zu.

Je reifer der Knochen wird, desto mehr typische, auch im Erwachsenenalter auftretende, Frakturarten der langen Röhrenknochen im Sinne von Quer-, Schräg- und Spiralfrakturen kommen hinzu.

Die Diagnostik erfolgt bei Kindern primär klinisch, ergänzt durch das klassische Röntgenbild in zwei Ebenen. Das vergleichende Röntgen der kontralateralen Seite ist medizinisch hingegen nicht indiziert und sollte auch aus Gründen der Strahlenexposition unterlassen werden (Täger et al. 2007, von Laer 2007, Zimmermann et al. 2004). Hinzu kommen Schnittbildverfahren wie die MRT, welches besonders im Kleinkindalter bei gelenknahem Frakturverdacht sinnvoll ist, da sich so auch die noch nicht verknöcherten Anteile, der am Gelenk beteiligten Knochenabschnitte, darstellen lassen.

Bei der Diagnostik am Ellenbogen ist die röntgenradiologische Darstellung in zwei Ebenen obligat (Täger et al. 2007). Insbesondere weil sich hier drei der bekannten fünf ‚Kadi-Läsionen‘ verbergen könnten. Diese sind die supracondyläre Humerusfraktur mit Rotationsfehler, die Condylus-Radialis-Fraktur und eine Luxation des Radiusköpfchens.

Nicht außer Sichtweite dürfen im Kindesalter die pathologischen Frakturen rücken. Die wichtigsten Ursachen einer Fraktur an den oberen Extremitäten sind die juvenilen Knochenzysten, fibröse Dysplasie und *Osteogenesis imperfecta*. Des Weiteren Tumoren, Histiozytosen, generalisierte fibröse Dysplasie (wie Jaffé-Lichtenstein, Albright etc.) und Osteomyelitiden. Ermüdungsbrüche sind bei Kindern äußerst selten und kommen eher an der unteren Extremität vor.

Außerdem werden, vor allem bei kleineren Kindern, Frakturen gesehen, deren Lokalisation auffällig ist oder bei denen keine plausible Ursache festgestellt werden kann.

An erster Stelle steht beim Verdacht auf ein Battered-Child-Syndrom die Röntgendiagnostik möglichst aller Skelettabschnitte. Sind multiple Frakturen unterschiedlichen Alters abgrenzbar, ist der Verdacht als erhärtet zu betrachten und es sollte weitere Diagnostik folgen.

Je jünger die Kinder, umso häufiger finden sich Frakturen auf Grund von Misshandlungen. Nach einer Studie aus den USA steht bei den Ursachen für Frakturen im Kleinkindalter unter drei Jahren der physische Missbrauch an zweiter Stelle. Er erreicht einen Anteil von 12,08 %. Die misshandelten Kinder sind durchschnittlich 6,8 Monate alt. Jungen sind häufiger betroffen als Mädchen (Leventhal et al. 2008).

1.4 Klassifikation von Frakturen

Ganz allgemein werden offene und geschlossene Frakturen unterschieden.

Bei den offenen Frakturen spricht man von drei Schweregraden (Rössler et al. 2007). Zur Einteilung von offenen und geschlossenen Frakturen kann auch die Klassifikation nach Tschernie und Oestern verwendet werden, welche in folgender Übersicht dargestellt ist:

Geschlossene Frakturen:

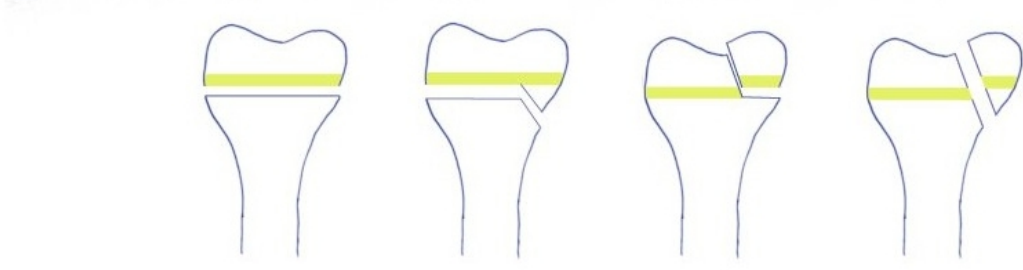
- | | |
|------------------|--|
| Grad 0: | Einfache Frakturformen mit fehlender oder unbedeutender Weichteilverletzung. |
| Grad I: | Einfache bis mittelschwere Frakturen mit oberflächlichen Hautabschürfungen oder Kontusion. |
| Grad II: | Mittelschwere bis schwere Frakturformen mit tiefen, verschmutzten Hautabschürfungen, Kontusion und drohendes Kompartmentsyndrom. |
| Grad III: | Schwere Frakturen mit ausgedehnter Hautkontusion oder Zerstörung der Muskulatur, subkutanem Decollement, manifestem Kompartmentsyndrom oder Verletzung eines Hauptgefäßes. |

Offene Frakturen:

- Grad I:** Durchspießung der Haut mit unbedeutender Kontamination.
- Grad II:** Durchtrennung der Haut, umschriebene Haut- und Weichteilkontusion und mittelschwere Kontamination.
- Grad III:** Ausgedehnte Weichteilzerstörung, häufig mit Gefäß- und Nervenverletzungen, starker Wundkontamination und ausgedehnter Knochenzertrümmerung.
- Grad IV:** Totale oder subtotale Amputationsverletzung mit weniger als einem Viertel des intakten Weichteilmantels und Durchtrennungen der wichtigsten Nerven und Blutgefäße mit vollständiger Ischämie.

Für die langen Röhrenknochen gilt die Einteilung nach der AO-Klassifikation. Diese codiert Körperregion, Position des Bruches innerhalb dieser Region und Bewertung der Fraktur nach ihrer Komplexität. Diese wird hauptsächlich in der Erwachsenen-Traumatologie verwendet und ist nicht befriedigend anwendbar auf kindliche Frakturen, besonders auf die gelenknahen Armbrüche (Slongo et al. 2010, von Laer et al. 2000).

Die gelenknahen Brüche sind im Kindesalter, auf Grund der noch offenen Wachstumsfugen, von besonderer Bedeutung. Sie lassen sich, wie in Abbildung 3 (Seite 22) dargestellt, nach Aitken oder Salter und Harris klassifizieren (von Laer 2007).



	I	II	III	IV
Salter & Harris	I	II	III	IV
Aitken	0	I	II	III

Abbildung 3: Klassifikationen von Gelenkfrakturen

Sehr wichtig bei der Betrachtung von Armfrakturen im Kindesalter ist die supracondyläre Fraktur am distalen *Humerus*. Um diese als eigenständige Frakturform zu differenzieren, wurden bereits viele Versuche vorgenommen, was zu einer Vielzahl von verschiedenen Klassifikationen führte. Allen gemein ist, dass sie sich auf die Morphologie der Fraktur sowie deren Dislokationsausmaß beziehen.

Im deutschen Sprachraum wird weitgehend die Klassifikation nach Baumann verwendet (Baumann 1965).

Gruppe I: Fissur mit minimaler Verschiebung der Fragmente

Gruppe II: Verschiebungen mit gegenseitigem Kontakt der Bruchstücke

Gruppe III: Fragmente ohne Kontakt

In der englisch sprachigen Literatur taucht die Klassifikation nach Gartland am häufigsten auf, welche keine grundlegenden Unterschiede aufweist (Gartland 1959).

Gruppe I: nicht verschobene Bruchenden

Gruppe II: Bruchenden bilden einen Winkel; posteriorer Kortex intakt

Gruppe III: vollkommen verschobene Bruchenden

In der deutschsprachigen und in der internationalen Literatur gibt es noch eine Fülle von anderen Klassifikationen die einander sehr ähneln, wie zum Beispiel die nach Lubinus (Lubinus 1924).

Da diese Klassifikationen die Rotation der Fragmente nicht mitberücksichtigen, sind sie in den letzten Jahren zunehmend in Misskredit geraten. Lutz von Laer stellte eine neue, therapiebezogenere Klassifikation auf. Auf einer Konsenstagung für suprakondyläre Frakturen im Juni 1998 in Graz konnte man sich darauf einigen. Im Zuge der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie wurde diese Klassifikation im Hinblick auf die Darstellung der Wirkungen von Reposition und Retention noch differenzierter gestaltet. Diese Klassifikation nach von Laer wurde so auch 2009 in die ‚Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie (DGKCh) für die Behandlung intraartikulärer Frakturen des distalen *Humerus*‘ aufgenommen (Schmittenebecher et al. 2009). Mit Hilfe von Abbildung 4 (Seite 24) kann die Einteilung bei den

supracondylären Frakturen nach von Laer nachvollzogen werden. Diese unterscheidet nach den verschiedenen Ebenen der Dislokation und kann so maßgeblich mitentscheidend für die Therapiewahl sein. Dislokationen können in verschiedene Typen untergliedert werden: die *Dislocatio ad axim*, die *Dislocation ad latus* und die *Dislocatio ad peripheriam*. Die *Dislocatio ad longitudinem* stellt eine Längenänderung dar, die auf eine Verkürzung, *cum contractione*, sowie auf eine Verlängerung, *cum distractione*, hinweisen kann (Beckmann 2006).

Einteilung		Häufigkeit
Typ I	undisloziert	Typ I + II: stabile Frakturen (35 %)
Typ II	Dislokation in 1 Ebene	Typ II stark disloziert: drohend instabile Frakturen (22 %)
Typ III	Dislokation in 2 Ebenen	Typ III + IV: instabile Frakturen (43 %)
Typ IV	Dislokation in 3 Ebenen	

Abbildung 4: Klassifikation der supracondylären Frakturen nach von Laer

2. Therapiemöglichkeiten

„Einrichten – Festhalten – Üben“ oder „Reposition – Retention – Rehabilitation“; So benannte Lorenz Böhler (1885-1973) die Grundpfeiler der Frakturbehandlung. Das kann man auf zwei grundlegenden Wegen erreichen. Welchen Weg der behandelnde Arzt einschlägt, den konservativen oder den operativen, hängt von vielen Faktoren ab. Dazu gehören zum einen Lokalisation, Art und Stellung des Bruches, Weichteildefekte und offene Wunden, sowie zusätzliche Traumata anderer Körperpartien. Zum anderen auch Ausbildung und Erfahrung des behandelnden Arztes, sowie logistische Möglichkeiten am Behandlungsort. Besonders bei Kindern spielt das Alter und der Skelettreifegrad des Patienten eine entscheidende Rolle in der Wahl des Behandlungskonzeptes.

2.1 Konservative Therapiemöglichkeiten

Ein konservativer Behandlungsweg ohne Reposition ist im Kindesalter für sämtliche Frakturen geeignet, solange sie undisloziert oder tolerabel disloziert sind. Dies wird nach von Laer in dem Sinne definiert, dass die Achsabweichung durch die zu erwartenden Wachstums- und Remodellierungsvorgänge noch ausgeglichen werden kann. Das Ergebnis sollte dann keine funktionellen oder kosmetischen Nachteile oder Einschränkungen aufweisen.

Wenn primär eine Achsabweichung besteht, die im Hinblick auf ihr Dislokationsausmaß und das Alter des Patienten nicht toleriert werden kann, wird die Fraktur vor Ruhigstellung in Anästhesie reponiert. Hierzu zählen völlig dislozierte Frakturen, wie Querfrakturen mit nicht mehr aufeinander in Kontakt stehenden Frakturflächen. Eine geschlossene Reposition sollte prinzipiell auch immer so durchgeführt werden, dass ein Wechsel zum offenen Verfahren in gleicher Narkose möglich ist. Nachrepositionen gilt es zu vermeiden, da diese zu erneuter Traumatisierung des Knochens und der Fuge führen und die kleinen Patienten sehr auch psychisch belasten können (Klohs et al. 2000).

Grundsätzlich muss eine Retention der Fraktur, in der Regel mit Einbeziehung benachbarter Gelenke erfolgen. Hauptziel ist es, optimale Bedingungen für eine komplikationslose Heilung zu erzielen. Wichtig dabei ist auch die Schmerztherapie

und möglichst minimaler Aufwand um das Kind keinem unnötigen Stress auszusetzen (Linhardt et al. 2005, von Laer et al. 2007, von Laer 2007).

Neben dem klassischen Weißgips haben sich viele synthetische Gipsmaterialien, harte, stabile und weiche, flexible Varianten, als günstig erwiesen. Sie sind deutlich leichter als Gips und in vielen verschiedenen Farben erhältlich.

Die Indikation zum primären Anlegen eines Gipsverbandes stellt sich im Kindesalter bei Frakturen mit zu erwartender Wachstumskorrektur. Zudem vermittelt er den Kindern ein Sicherheitsgefühl, die Ruhigstellung dient der Schmerzreduktion und fördert die Wundheilung. Ziel ist es, das Kind möglichst schnell wieder schul- und spielfähig zu machen (Klohs et al. 2000).

Trotz allem ist auch dieses Verfahren nicht frei von Komplikationen, worüber der Patient und seine Eltern aufgeklärt werden müssen. Elastische Verbände können drücken und einschnüren und so zu Durchblutungsstörungen führen. Bei einer Gipsbehandlung steht die Gefahr der möglicherweise auftretenden Druckstellen und die schwere Komplikation der Volkmann'schen Kontraktur im Vordergrund. Diese können nicht nur durch die Gipstechnik, sondern auch durch eventuell ‚verschwundene‘ Gegenstände hervorgerufen werden, welche initial zur Kontrolle des Juckreizes eingeführt wurden.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit zur Redression. Damit können an Stelle einer Reposition kleinere Achsabweichungen bei Schaftfrakturen auch mit Hilfe einer Gipskeilung korrigiert werden.

Zur Ruhigstellung im Schulter- und Ellenbogengelenksbereich können Gilchrist-, Desault- oder Velpeau-Verbände sowie eine Blount-Schlinge Anwendung finden.

2.2 Operative Therapiemöglichkeiten

Bei der operativen Versorgung von Frakturen im Kindesalter bieten sich verschiedene Optionen an. Dabei wird primär offen, aber auch geschlossen, reponiert und dann Osteosynthesematerial eingebracht. Im Vordergrund stehen verschiedene, vorzugsweise minimalinvasive, Verfahren.

In der pädiatrischen Frakturversorgung finden die Spickdraht- oder Kirschner-Draht-Osteosynthese Verwendung. Bei dieser reinen Adaptationsosteosynthese werden perkutan Drähte gekreuzt eingebracht um das Fragment zu fixieren. Das Ergebnis ist dann maximal lagerungs-, aber nicht belastungsstabil. So wird normalerweise eine

zusätzliche Gipsruhigstellung benötigt. Zu beachten ist, dass sich die beiden Drähte proximal der Frakturlinie kreuzen und die Enden jeweils in der Gegenkortikalis perforieren, um gute Stabilität zu erreichen. Die Enden können unter Hautniveau versenkt werden oder, für eine einfache und komplikationslose Materialentfernung, über ihm belassen werden (von Laer et al. 2002).

Im Falle von Frakturen, bei denen ein Zug am Fragment, wie bei kräftigen Muskel- und Sehnenansätzen, abgefangen werden soll, kommt die Zuggurtungsosteosynthese zum Einsatz. Dafür werden zwei Kirschner-Drähte parallel von proximal in das *Olecranon* eingebracht und eine Drahtcerclage um sie gelegt.

Schrauben- und Plattenosteosynthesen werden eher bei Erwachsenen therapeutisch eingesetzt. Sie finden vor allem bei Jugendlichen kurz vor oder nach Wachstumsabschluss Verwendung.

Der Fixateur externe bietet sich besonders bei offenen Frakturen sowie bei mehrfragmentären Frakturen oder Spiralbrüchen an. Vorwiegend Verwendung findet dieses Verfahren jedoch an der unteren Extremität.

Die elastisch-stabile Markraumschienung, welche häufig Anwendung findet, fand den Anfang ihrer Verbreitung durch Prevot Ende der 1980er Jahre (Prevot et al. 1990). Die erste intramedulläre Schienung einer Humerusfraktur, wenn auch aus anderem Material, wurde 1904 von Niehaus beschrieben.

Es sind viele Synonyme für diese Art der Osteosynthese bekannt: so zum Beispiel ESIN (elastic stable intramedullary nailing), Nancy-Nagel, Prevot-Nagel, ECMES (embrochage centromedullaire elastique stable) und Morote-Drahtung.

Biomechanisch ist die gute Stabilität der intramedullären Schienung in einer Drei-Punkt-Abstützung begründet. Diese Punkte liegen an der Eintrittsstelle, auf Frakturhöhe sowie an der metaphysären *Spongiosa* des Gegenfragmentes. Wichtig ist, dass die größte Biegung, also der maximale Abstand, der beiden Nägel genau auf Frakturhöhe liegt (Richter et al. 1998, Lascombes et al. 2006). Körpergewicht, Muskelzug und andere einwirkende Biegekräfte führen zu einer reversiblen Verformung des Materials. Diese enorme Elastizität der Nägel ermöglicht ein gutes Abfangen aller einwirkenden Kräfte (Oestern et al. 2000).

Die ESIN ist Therapie der Wahl bei Frakturen der langen Röhrenknochen der oberen Extremität, die offen und / oder instabil disloziert sind (Knorr et al. 2005, Lieber et al. 2005, von Laer 2007, Weinberg et al. 2008, Berchthold 2008, Siewert 2006, Heune-Bruns 2008, Marzi 2010).

2.3 Spezielle Therapieoptionen

2.3.1 Proximaler *Humerus*/ Subcapitale Humerusfrakturen

Durch die hohe Wachstumspotenz der proximalen Humerusepiphysenfuge und aufgrund der drei Funktionsebenen des glomerulohumeralen Gelenks, besteht bei geschlossenen Brüchen des proximalen Oberarmes gute Ausgleichsmöglichkeit von Fehlstellungen. Dadurch kann meist konservativ behandelt werden (von Laer et al. 2007, Müller 2005, Klohs et al. 2000, Täger et al. 2007). Das geschieht mit Hilfe eines Gilchrist- oder Desault-Verbandes für 2-3 Wochen (Müller 2005).

Bis zum 12. Lebensjahr gelten Frakturen noch als tolerabel disloziert bei 50° Achsabweichung in Varus-, Ante- und Rekurvation (Täger et al. 2007, von Laer 2007, Klohs et al. 2000) bzw. 60° (Müller 2005). Ab dem 13. Lebensjahr sollten Fehlstellungen von mehr als 30° behoben werden (Klohs et al. 2000, Täger et al. 2007). Nach von Laer sind jenseits des 12. Lebensjahres Spontankorrekturen nur noch um etwa die Hälfte der ursprünglichen Fehlstellung möglich (von Laer 2007). Bei einer Valgusfehlstellung des frakturierten Knochens liegt die Grenze für die Korrekturfähigkeit der Fehlstellung, unabhängig vom Alter, bei 10° (Täger et al. 2007).

Der Abschluss des Längenwachstums am proximalen *Humerus* liegt je nach Geschlecht zwischen dem 14. und 18. Lebensjahr (von Laer 2007, Heune-Bruns 2008). Ist nach den oben genannten Kriterien, bei Instabilität, offenen Frakturen oder kurz vor Wachstumsabschluss die Indikation zur operativen Therapie gegeben, bieten sich zwei verschiedene Verfahren an. Zwei von distal, vom lateralen oder medialen *Epicondylus*, eingebrachte elastisch-stabile intramedulläre Nägel (ESIN) sind dabei der Kirschner-Drahtspickung am Humeruskopf vorzuziehen (von Laer 2007, Täger et al. 2007, Müller 2005). Dies erleichtert die postoperative Mobilisation des Schultergelenks. Bei der Kirschner-Drahtspickung ist eine postoperative Ruhigstellung angezeigt, wohingegen bei Verwendung der ESIN ein sofortiges schmerzabhängiges Beüben möglich ist (von Laer 2007, Lieber et al. 2005).

Die Materialentfernung kann nach etwa 4–5 Monaten erfolgen (Heune-Bruns 2008, Täger et al. 2007, von Laer 2007).

2.3.2 Diaphysärer *Humerus*

Humerusschaftfrakturen, wie in Abbildung 5 (Seite 29) zu sehen, finden sich im Kindesalter eher selten, am ehesten in Verbindung mit Geburtstraumata oder Kindsmisshandlung und sind vorrangig eine Domäne der konservativen Therapie (Klohs et al. 2000, Berchthold 2008, von Laer 2007, Müller 2005). Wachstumsstörungen sind selten zu befürchten, jedoch bestehen auch hier Altersdifferenzen, weswegen keine Achsabweichungen von $>10^\circ$ belassen werden sollten (von Laer 2007).



Abbildung 5: Oberarmspiralfraktur (AO12-A2) rechts eines 6 Monate alten Säuglings (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Menzel, Institut für Kinderradiologie, Uni Jena)

Wenn jedoch zur Reposition eine Narkose notwendig ist, sollte im gleichen Zuge eine osteosynthetische Versorgung erfolgen (von Laer 2007, Klohs et al. 2000). Eine topographisch sehr wichtige Rolle spielt bei diesen Frakturen der *N. radialis*, welcher unter dem *M. brachioradialis* direkt auf dem Humerusperiost verläuft. Bei begleitenden Nervenschäden stellt sich je nach Literaturquelle die absolute Indikation zur operativen Versorgung (Berchthold 2008) oder aber zum Zuwarten über 3-4 Wochen (von Laer 2007) bzw. 8 Wochen (Klohs et al. 2000) bis zur Revision.

Versorgt werden sollten Brüche des Oberarmschaftes bei Querfrakturen mittels ESIN (Klohs et al. 2000, von Laer 2007, Knorr et al. 2005, Jubel et al. 2004). Die Materialentfernung erfolgt nach etwa vier Monaten. Schrägfrakturen und mehrfragmentäre Brüche sowie offene Frakturen und bei Weichteilinterponaten werden mit einem externen Fixateur behandelt (von Laer 2007, Heune-Bruns 2008, Schratz et al. 1998).

2.3.3 Distaler *Humerus*/ Supracondyläre Humerusfrakturen

Die distale Humerusepiphyse ist mit nur 20 % am Längenwachstum des Oberarms beteiligt. Daher ist ihr Korrekturpotenzial nicht so hoch wie das der proximalen Epiphysenfuge (Täger et al. 2007). Eine Fraktur am supracondylären *Humerus* stellt die häufigste Ellenbogenverletzung im Kindesalter dar (von Laer 2007, Wu et al. 2002, Weise 2004, Schofer et al. 2003, Berchthold 2008). Sie nimmt 50-70 % aller Verletzungen in dieser Region ein (Klohs et al. 2000, Weinberg et al. 2002, Ersan et al. 2009), sowie 7 % (Müller 2005, Weinberg et al. 2002, Schofer et al. 2003), bzw. 10-18 % aller kindlichen Frakturen (Weise 2004, Bohn et al. 2010).

Die Diagnostik einer supracondylären Fraktur erweist sich durch die verschiedenen Ossifikationszentren am Ellenbogengelenk, welche nachfolgend schematisch in Abbildung 6 (Seite 31) dargestellt sind, oft als schwierig und bedarf so die Erfahrung eines Spezialisten.

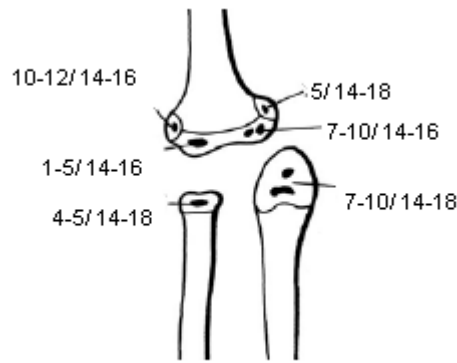


Abbildung 6: Auftreten / Verschmelzung der Knochenkerne im Ellenbogengelenksbereich in Lebensjahren

Die größte Gefahr liegt im Nicht-Erkennen einer solchen Fraktur, weshalb sie auch unter die ‚Kadi-Läsionen‘ zählt (Wu et al. 2002, Täger et al. 2007).

Zu Brüchen kommt es vor allem, weil in den ersten zehn Lebensjahren die Zugkraft der Kollateralbänder und der Gelenkkapsel größer ist als die Stabilität des Knochens selbst (Wu et al. 2002, Heune-Bruns 2008).

Zu den Komplikationen zählt Fehlwachstum, Läsion des *N. ulnaris* und die Volkmann'sche-Kontraktur bei übersehenem Kompartmentsyndrom (Berchthold 2008, Weise 2004, von Laer 1997).

Wesentlich für eine korrekte Diagnose sind Röntgenaufnahmen des Ellenbogengelenks in zwei Ebenen. Es dient nicht nur der Erkenntnis über den Frakturverlauf und über Rotationsfehler im Rahmen von supracondylären Oberarmbrüchen, sondern auch zum Ausschluss von undislozierten Frakturen des *Condylus radialis humeri* und Radiusköpfchenluxationen (von Laer 2007). Vergleichsaufnahmen der Gegenseite sind auf Grund der Strahlenhygiene kontraindiziert (von Laer 2007).

Wichtig für die radiologische Diagnostik ist das Fettpolsterzeichen, welches durch eine Abhebung des periartikulären Weichteilgewebes, aufgrund des intraartikulären Frakturhämatoms, eine Transparenzerhöhung im lateralen Strahlengang bedingt (Täger et al. 2007, Wu et al. 2002). Außerdem nimmt die Rogers-Hilfslinie in der radiologischen Diagnostik einen hohen Stellenwert ein. Sie bildet die Tangente der ventralen Humeruskortikalis im Seitenbild und sollte bei achsgerechtem Stand das Radiusköpfchen zwischen dem mittleren und dorsalen Drittel schneiden (Täger et al. 2007, Weise 2004, Heune-Bruns 2008).

Bei Beurteilung des Frakturverlaufes durch die Epiphysenfuge hat das MRT deutliche Vorteile gegenüber dem konventionellen Röntgenbild gezeigt, da auch nicht-ossifiziertes Gewebe dargestellt werden kann (Beltran et al. 1994). Dieses Verfahren konnte sich aber, vor allem auch durch zusätzliche Belastung für das Kind durch eventuell nötige Sedierung, nicht durchsetzen (Schofer et al. 2003, Bohn et al. 2010).

Eingeteilt werden die supracondylären Frakturen, im deutschsprachigen Raum, heute hauptsächlich nach der in Abbildung 5 (Seite 29) dargestellten Klassifikation nach von Laer (Schofer et al. 2003).

Undislozierte Frakturen des Typs I werden konservativ mit Hilfe einer Blount-Schlinge behandelt (Heune-Bruns 2008, von Laer et al. 2002, von Laer et al. 2007, Müller 2005, Weinberg et al. 2002, Bohn et al. 2010, Weise 2004, Täger et al. 2007, Schofer et al. 2003, Wu et al. 2002).

Frakturen des Typs II nach von Laer sind in einer Ebene disloziert und in ihrer Therapie umstritten. Sie können weitgehend konservativ behandelt werden (Täger et al. 2007, von Laer et al. 2007), bei Antekurvation in Spitzstellung mit Blount-Schlinge und bei Rekurvation mit einer Oberarmgipsschiene in Streckstellung (Schofer et al. 2003). Die Indikation zur operativen Therapie besteht bei Rotationsfehlstellungen und Instabilität (Weise 2004, von Laer et al. 2007, Ersan et al. 2009, Schofer et al. 2003, Bohn et al. 2010). Frakturen ab Typ III werden generell osteosynthetisch versorgt.

Die Osteosynthese erfolgt durch perkutane Kirschner-Drahtspickung (Bohn et al. 2010, Berchthold 2008, Weinberg et al. 2002, Täger et al. 2007, Ersan et al. 2009, Schofer et al. 2003, Weise 2004, von Laer et al. 2002, von Laer 2007, Omid et al. 2008b). In Abbildung 7 (Seite 33) ist dieses Verfahren mit zwei postoperativen Röntgenbildern illustriert. Alternativ kommt auch hier die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (von Laer 2007, Bohn et al. 2010, Schofer et al. 2003) und bei stark dislozierten oder offenen Brüchen der Fixateur externe zum Einsatz (von Laer 1997, von Laer 2007, Bohn et al. 2010, Täger et al. 2007, von Laer et al. 2002). Ziel der Behandlung sollte, neben guten kosmetischen Ergebnissen und exakter anatomischer Reposition, vor allem die volle Beweglichkeit im Ellenbogengelenk sein (Ersan et al. 2009). In einer retrospektiven multizentrischen Studie von Lutz von Laer zeigte sich im Jahr 2002, dass sich bei den supracondylären Typ II Frakturen nach Reposition ein besseres Outcome zeigte, als ohne Reposition (von Laer et al. 2002).

Das verdeutlicht wie wichtig die korrekte Stellung der Fragmente für die Bewegung des Gelenkes in beiden Ebenen, Flexion und Extension sowie Supination und Pronation ist.

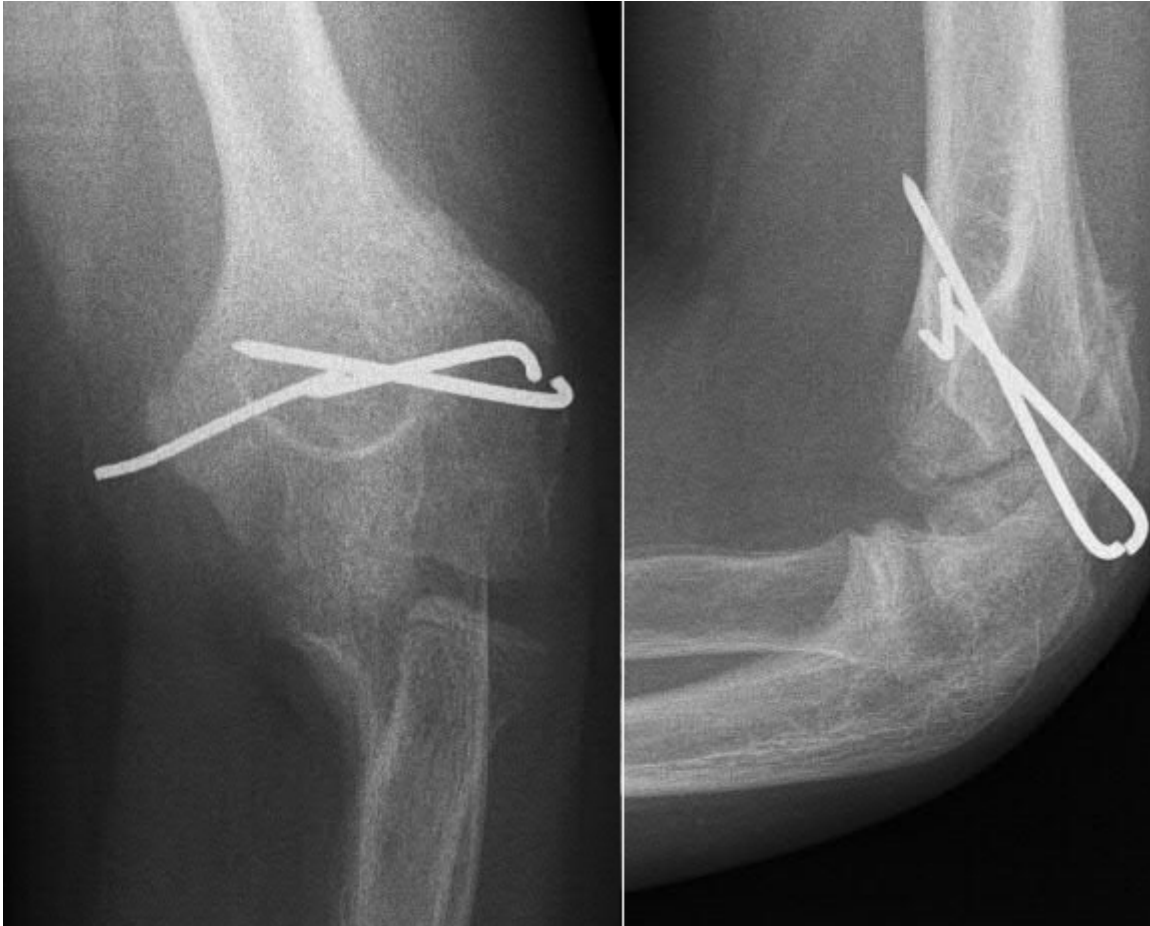


Abbildung 7: Kirschner-Drahtspickung einer supracondylären Fraktur
(mit freundlicher Genehmigung von Prof. Menzel, Institut für Kinderradiologie, Uni Jena)

2.3.4 Transcondylärer *Humerus*/ Y-Fraktur

Diese Fraktur ist sehr selten, komplikationsträchtig und auch im Röntgenbild schwer von einem supracondylären Bruch zu unterscheiden (Müller 2005, von Laer 2007). Radiologisch spricht ein Frakturspalt, der sowohl von radial als auch von ulnar auf die Epiphyse hin verläuft, dafür. Therapie der Wahl ist hier je nach Dislokationsausmaß eine konservative Ruhigstellung oder eine operative Versorgung mittels Kirschner-Drähten oder Zugschrauben (von Laer 2007).

2.3.5 Frakturen des lateralen Condylus/ *Condylus radialis humeri*

Verletzungen dieser Art sind mit 20 % (Weise 2004) die zweithäufigsten am kindlichen Ellenbogen und zählen auch zu den ‚Kadi-Läsionen‘ (von Laer 2007, Heune-Bruns 2008, Berchthold 2008). Bei *Condylus radialis* Frakturen im Kindesalter handelt es sich, wie in Abbildung 8 (Seite 35) am Röntgenbild verdeutlicht, um fugenkreuzende intraartikuläre Frakturen Typ IV nach Salter & Harris (Weise 2004, von Laer 1989, Klohs et al. 2000, Täger et al. 2007, Müller 2005). Aufgrund des Verlaufs durch die Epiphysenfuge, welche am distalen Oberarm nur 20 % des Wachstums bewerkstelligt, ist das Risiko für auftretende Wachstumsstörungen sehr groß (Klohs et al. 2000, von Laer 1989). Eine Sonderform der Wachstumsstörung in diesem Bereich, die in einer funktionell wirksamen Verformung der Trochlearolle resultiert, ist die Fischeisbaudeformität (Weise 2004). Bei kompletter Abtrennung des condylären Fragmentes ist die Gefahr einer sekundären Dislokation sehr groß. Diese kann aufgrund von Druckeinwirkung des Radiusköpfchens und durch Zug des *M. extensor carpi radialis* auch in Gipsruhigstellung erfolgen (Müller 2005, Täger et al. 2007, Weise 2004, von Laer 2007, Klohs et al. 2000). Durch unvollständige Konsolidation kann es dabei auch zu Pseudarthrosenbildung kommen (von Laer 2007, Täger et al. 2007). Dislozierte Frakturen stellen aus den oben genannten Gründen eine absolute OP-Indikation dar. Diese erfolgt mittels einer Zugschraubenosteosynthese (von Laer 2007, Müller 2005, Täger et al. 2007, Heune-Bruns 2008, Weise 2004).



Abbildung 8: Schalenförmige metaphysäre Abrissfraktur am *Epicondylus radialis humeri* bei 7-jährigem Kind, Verlaufskontrolle nach einem Monat (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Menzel, Institut für Kinderradiologie, Uni Jena)

2.3.6 Frakturen des medialen Condylus/ *Condylus ulnaris humeri*

Frakturen diesen Typs sind sehr selten (von Laer 2007, Heune-Bruns 2008) und es handelt sich meist um Läsionen Typ IV nach Salter & Harris (Müller 2005). Die Gefahr zur Dislokation ist selten gegeben, da der Druck des Radiusköpfchens fehlt, kann aber durch Zug der ansetzenden Flexorengruppe geschehen. Die Therapie ist gleich der des *Condylus radialis humeri*, unter besonderer Beachtung des *N. ulnaris* (Müller 2005, von Laer 2007).

2.3.7 Frakturen der Epicondylen/ *Epicondylus radialis et ulnaris humeri*

Hierbei handelt es sich um Ausrisse der Apophysen. Dadurch wird die Epiphysenfuge nicht alteriert und Wachstumsstörungen sind nicht zu erwarten (von Laer 2007). Diese Verletzungen sind selten und zu 75 % mit einer Ellenbogengelenkluxation vergesellschaftet (Klohs et al. 2000, von Laer 2007). Auf begleitende *N. ulnaris* - Läsionen ist zu achten (Klohs et al. 2000, Weise 2004). Bei erhaltener Bandstabilität,

ohne Dislokation, kann die Fraktur konservativ im Oberarm-Gips ruhiggestellt werden. Bei deutlicher Dislokation und Instabilität hingegen ist die osteosynthetische Versorgung angezeigt. Diese kann mittels kleiner Zugschrauben, 1 - 2 Kirschner-Drähten oder auch mit Zuggurtungsosteosynthese erfolgen (Klohs et al. 2000, von Laer 2007, Weise 2004).

2.3.8 Monteggia – Läsion

Beim Auftreten einer Radiusköpfchen-Luxation in Verbindung mit einer Fraktur der proximalen *Ulna* oder des *Olecranon*s spricht man von einer Monteggia-Läsion (Weise 2004, von Laer 2007). Diese zählt ebenfalls zu den ‚Kadi-Läsionen‘ und sollte nicht übersehen werden, was sich bei noch nicht abgeschlossener Verknöcherung als schwierig erweisen kann. Unbehandelt kann sie in Bewegungseinschränkungen, Instabilitäten und Valgus-Fehlstellung im Ellenbogengelenk münden (von Laer 2007). Hilfreich zur Diagnosestellung ist in der nativen Röntgenaufnahme die radiokapitäre Linie. Sie wird aus der verlängerten Längsachse des *Radius* gebildet, welche in jeder Projektion, auf den Knochenkern der *Capitulum humeri radialis* treffen sollte, sofern keine Luxation vorliegt (Täger et al. 2007).

Eine konservative Therapie im Oberarm-Gips kann bei nicht-dislozierten Ulnafrakturen erfolgen.

Bei Dislokation ist die exakte anatomische Reposition der *Ulna* das einfachste Mittel um auch die Luxation des Radiusköpfchens zu beseitigen (Weise 2004, von Laer 2007). Die beste Retention kann mit einem intramedullären Nagel erreicht werden. Bei weiter fortbestehender Luxationsstellung wird der *Radius* offen reponiert und das *Lig. anulare* mittels Naht verschlossen (Weise 2004).

2.3.9 Proximaler Unterarm/ Radiusköpfchen-Fraktur

Obwohl die proximale Wachstumsfuge des *Radius* nur 20-30 % zum Längenwachstum beiträgt birgt sie enormes Potential zur Spontankorrektur von Achsabweichungen (von Laer 2007).

Bei dieser Frakturart sollte das Hauptaugenmerk darauf liegen, sie mit so wenig manipulativem Eingriff wie möglich im Gips ruhig zu stellen. Denn nicht nur durch das Trauma an sich, sondern auch durch iatrogene Traumatisierung bei

Repositionsmanövern oder Physiotherapie, können Formveränderungen des Radiusköpfchens zur Folge haben. Solches resultiert aus einer Teil-/ Vollnekrose des proximalen Radiusendes durch Störung bzw. Unterbrechung der Blutversorgung (von Laer et al. 2007, Täger et al. 2007, Vocke 1998).

Die Korrekturgrenzen liegen bei Kindern unter 10 Jahren bei 50° (Klohs et al. 2000, Täger et al. 2007) bzw. 60° (Weise 2004, Vocke 1998). Nach Vollendung des 10. Lebensjahres liegen die Grenzen für tolerabel dislozierte Frakturen bei 20° (Vocke 1998, Klohs et al. 2000) bzw. 10° (Täger et al. 2007). Höhergradige Abkippen werden mit Hilfe eines von distal eingebrachten elastisch-stabilen intramedullären Nagels reponiert und retendiert (Täger et al. 2007, Vocke 1998, Weise 2004, Klohs et al. 2000).

2.3.10 Proximaler Unterarm/ *Olecranon*-Fraktur

Eine isolierte Fraktur des *Olecranon*s ist im Kindesalter sehr selten anzutreffen, wenn dann meist in Verbindung mit einer Radiusköpfchenluxation im Sinne einer Monteggia-Läsion wie oben beschrieben (Klohs et al. 2000).

Liegt keine Dislokation der Fragmente vor kann eine konservative Behandlung mittels Oberarm-Gips angestrebt werden. Der Zug durch die Sehne des *M. trizeps* birgt aber die Gefahr der sekundären Dislokation. Im Falle einer Solchen ist operatives Vorgehen mittels Zuggurtungs-Osteosynthese indiziert (Klohs et al. 2000, Täger et al. 2007).

2.3.11 Unterarmschaftfrakturen/ *Radius* und *Ulna* diaphysär

Frakturen am Unterarm sind zu zwei Dritteln vollständige Brüche, meist bei Kindern jenseits des 10.-12. Lebensjahres und zu einem Drittel in Form von Grünholzfrakturen/ bowing fractures (von Laer 2007).

Bei den bowing fractures – Biegungsbrüchen – wird die konvexe Kortikalisseite nur angebrochen und bleibt größtenteils intakt. Daraus resultiert ein stabiler Frakturstand und eine primäre Heilung ohne große Kallusbildung. Da aus diesem Grund kaum Risiko zur Refraktur besteht, können diese Frakturen bei Achsabweichungen <20° sehr gut mit Ruhigstellung im Gips in Nullstellung für ca. 3 Wochen behandelt werden

(von Laer 2007). Ebenfalls konservativ behandelt werden vollständige Schaftbrüche mit einer Achsabweichung von bis zu 20° unterhalb des 5. Lebensjahres.

Doch die konservative Versorgung von diaphysären Unterarmfrakturen wird heute als sehr komplikationsträchtig angesehen. Dies ist begründet in dem geringen Korrekturpotential dieser Lokalisation sowie dem häufigen Auftreten von Pseudarthrosen und Refrakturen durch Konsolidationsstörungen (von Laer 2007, Zimmermann et al. 2004, Mann et al. 2003).

Die eigentlichen Grünholzfrakturen sind durch eine intakte oder leicht angebrochene konkave Kortikalis und eine vollständig durchbrochene konvexseitige Kortikalis charakterisiert. Bei diesen kann ein Repositionsversuch in Anästhesie unternommen werden. Der Knochen wird dabei komplett durchgebrochen, die Frakturende adaptiert und bei stabilem Frakturstand konservativ behandelt (von Laer 2007, Klohs et al. 2000). Stellt sich die Fraktur bei Reposition als instabil dar ist eine osteosynthetische Versorgung mittels ESIN indiziert (von Laer 2007, Lieber et al. 2005).

So werden die meisten Unterarmbrüche heute operativ versorgt (von Laer et al. 2007). Absolute Operationsindikationen sind dabei Achsabweichungen von >10° (von Laer 2007, Weinberg et al. 2008, Klohs et al. 2000, Zimmermann et al. 2004, Weinberg et al. 2001), Gefäß- und Nervenbeteiligung, instabile Frakturen, Seit-zu-Seit-Verschiebungen und sekundäre Dislokationen nach Repositionen (Zimmermann et al. 2004, Weinberg et al. 2008, Lieber et al. 2005).

Dafür hat sich die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung, nach gegebenenfalls komplettem Durchbrechen der Knochen, als Verfahren der Wahl etabliert. Dabei wird jeweils ein Nagel in den *Radius* von distal und in die *Ulna* von proximal eingebracht (Weinberg et al. 2008, von Laer 2007, Zimmermann et al. 2004, Mann et al. 2003, Klohs et al. 2000, Oestern et al. 2000). Das postoperative Ergebnis im Gipsverband ist in Abbildung 9 (Seite 39) als Röntgenaufnahme dargestellt.

Durch eine gegenläufige Drei-Punkt-Abstützung der beiden Marknägeln kann man die *Membrana interossea* aufspannen, was sich positiv auf Stabilität und Konsolidierung auswirkt (Mann et al. 2003, Lieber et al. 2005). Vorteile der intramedullären Schienung ist der minimalinvasive Eingriff, die sichere Retention und der Erhalt des physiologisch für die Konsolidation wichtigen Frakturhämatoms. Außerdem kann das Kind sogleich eine funktionelle Nachbehandlung nach seinem selbstbestimmten Aktivitäts- und Bewegungsausmaß beginnen.

Eine postoperative Ruhigstellung im Gips ist für die Frakturheilung nicht vonnöten, eignet sich aber gut zur Schmerztherapie (Mann et al. 2003, Klohs et al. 2000, von Laer 2007, Weinberg et al. 2008, Zimmermann et al. 2004, Lieber et al. 2005).

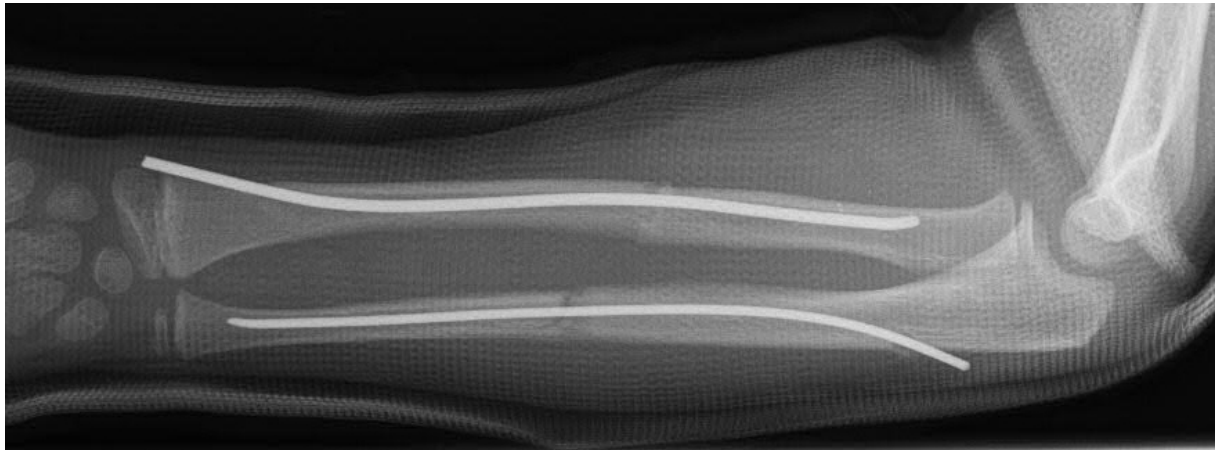


Abbildung 9: Diaphysäre Unterarmschaftfraktur nach operativer Versorgung mittels ESIN (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Menzel, Institut für Kinderradiologie, Uni Jena)

Als weitere Therapieoptionen können am Unterarmschaft bei Pseudarthrosen, Refrakturen oder muskulären Insuffizienzen und Lähmungen auch Platten (Zimmermann et al. 2004) verwendet werden. Bei Trümmerfrakturen und offenen Brüchen III° (Zimmermann et al. 2004, Weinberg et al. 2008) kann ein Fixateur externe zur osteosynthetischen Versorgung zum Einsatz kommen.

2.3.12 Distale Unterarmfrakturen

Frakturen am distalen Unterarm sind die häufigsten Verletzungen an der oberen Extremität (von Laer 2007). Durch das enorme Ausgleichspotential der zu 80 % am Längenwachstum beteiligten Fugen, steht die konservative Frakturbehandlung im Vordergrund (von Laer 2007, von Laer et al. 2007, Klohs et al. 2000, Täger et al. 2007). Die Epiphysenlösung am distalen *Radius* ist die häufigste aller Epiphysenlösungen und entspricht der Radiusfraktur loco typico beim Erwachsenen (Täger et al. 2007).

Bis zum 10.-12. Lebensjahr können Seit-zu-Seit-Verschiebungen um volle Schaftbreite (Täger et al. 2007), sowie Achsabweichungen bis zu 50° durch das weitere Knochenwachstum ausgeglichen werden (Täger et al. 2007, von Laer 2007).

Die Therapie erfolgt mit Ruhigstellung im Unterarmgips für vier Wochen (Täger et al. 2007).

Schwierigkeiten können im Zuge der radiologischen Diagnosestellung bei eingestauchten Wulstfrakturen auftreten. In diesen Fällen richtet man sich ausschließlich nach der Klinik und stellt den betroffenen Arm im Gipsverband ruhig (von Laer 2007).

Nach Überschreiten des, je nach Geschlecht, 10. bzw. 12. Lebensjahres ist, zur sicheren Retention, eine Osteosynthese mit zwei Kirschner-Drähten indiziert (von Laer 2007, von Laer et al. 2007, Täger et al. 2007, Klohs et al. 2000). Diese werden perkutan über Kreuz eingebracht und nach drei Wochen entfernt (Klohs et al. 2000, von Laer 2007).

3. Zielstellung

Anhand des Krankengutes der Klinik für Kinderchirurgie am Universitätsklinikum Jena sollen die Häufigkeiten, Altersverteilungen und Management von Armfrakturen bei Kindern vom 04.01.2007 bis 19.05.2008 ausgewertet werden. Dazu werden ausschließlich Frakturen von *Humerus*, *Ulna* und *Radius* sowie Beteiligungen des Ellenbogengelenks untersucht. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf supracondylären Frakturen und der operativen Versorgung von Schaftfrakturen mit elastisch stabiler intramedullärer Nagelung.

Für die Auswertung der Daten von 148 Kindern mit 159 Frakturen sind folgende Fragen vordergründig:

- Wie stellt sich die Altersverteilung der Patienten dar?
- Gibt es eine Ungleichverteilung zwischen den Geschlechtern?
- An welchen Orten oder bei welchen Aktivitäten ziehen sich die Kinder Frakturen zu?
- Welche Frakturlokalisationen und Frakturarten kommen besonders häufig vor?
- Wie wurden die Brüche an der Klinik für Kinderchirurgie behandelt? Welche konservativen und operativen Methoden kamen zu Einsatz?
- Gab es zu den Frakturen Begleitverletzungen?
- Traten nach der Therapie bei den Jenaer Patienten Spätfolgen auf?

Anschließend werden die einzelnen Frakturlokalisationen, welche unter den Patienten vorkamen, separat beleuchtet.

Im Weiteren sollen die Auswertungsergebnisse mit der aktuellen Literatur verglichen werden.

4. Material und Methode

4.1 Patientengut

Diese retrospektive Analyse basiert auf den Krankendaten von 148 Patienten im Alter zwischen 0 und 15 Jahren, die im Zeitraum vom 04.01.2007 bis 19.05.2008, in Folge von Armfrakturen, an der Klinik für Kinderchirurgie der Universitätsklinik der Friedrich Schiller Universität Jena stationär oder ambulant behandelt wurden. Dazu wurden die entsprechenden, elektronisch gespeicherten Krankenakten, sowie Röntgenbilder und -befunde von 159 Frakturen gesichtet.

Eingeschlossen waren Brüche der oberen Extremität von *Humerus*, *Radius* und *Ulna*. Brüche der Handknochen, Schultergelenkluxationen sowie *Clavicula*- und *Scapula*-Frakturen wurden in die Auswertung nicht mit eingeschlossen. Andere Selektionskriterien lagen nicht vor.

4.2 Methode der Datenerfassung

Die Krankenakten der oben genannten 148 Patienten wurden studiert und folgende Kriterien wurden dabei berücksichtigt:

I. Fragen zur Person

Es wurde das Alter zum Zeitpunkt der Vorstellung, am Tag der Erstbehandlung sowie das Geschlecht erfasst.

II. Fragen zum Unfallhergang

Die Auswertung des Unfalls bezog sich auf den Ort und den Hergang des Geschehens. Es wurde unterschieden zwischen Kindertagesstätte, Schule, Freizeit, Haushalt, Verkehr und Sport. Als Haushaltsunfälle waren Unfälle definiert, die im häuslichen Umfeld in geschlossenen Räumen geschahen, wie zum Beispiel Stürze aus dem Bett. Zur Rubrik Freizeit zählen Unfälle, die außerhalb von häuslichem Umfeld oder Schule/Kindergarten geschehen. Verkehrsunfälle sind als Ereignisse mit Beteiligung von Verkehrsmitteln wie Autos, Fahrräder und aus dem öffentlichen Nahverkehr definiert.

Frakturen, die sich während des Schulsports ereigneten, zählten in die Rubrik Sport. Des Weiteren wurde bestmöglich versucht anhand der Anamnesedokumentation das Unfallgeschehen, im Hinblick auf die Mechanik des Sturzes, nachzuvollziehen. Unterschieden wurde unter Stürzen auf den gestreckten oder gebeugten Arm, Ellenbogen und Schulter, Pronations- oder Supinationstraumen, sowie Polytraumata.

III. Fragen zur Fraktur

Die Frakturbeschreibungen in den Patientenakten fand folgende Verwendung. Es wurde unterschieden nach rechtem und linkem Arm. Die Frakturen wurden unterteilt in Schräg-, Quer-, Torsions- und Trümmerbrüchen, außerdem in die im Kindesalter häufig auftretenden unvollständigen Frakturen, wie Grünholz- oder Wulst-/ Stauchungsbrüche.

Als wichtig wurden auch die Lokalisation der Bruchstelle an den drei langen Röhrenknochen des Armes sowie begleitende Epiphysenbeteiligung, Luxation von Radiusköpfchen oder *Caput humeri* sowie zusätzliche Nerven- oder Gefäßverletzungen angesehen.

IV. Fragen zur Therapie

Die Therapieoptionen unterscheiden zwischen konservativer Versorgung, mit oder ohne Reposition der Fragmente und operativem Vorgehen. Es wurde untersucht welche Art der Osteosynthese, wie Platten, intramedulläre Nägel, Kirschner-Drähte, Schrauben oder Fixateur externe, gewählt wurde.

V. Fragen zum Outcome

Abschließend, wichtig im Bezug auf die Fragestellung, war das Outcome der kleinen Patienten. Das Auftreten von Komplikationen wurde untersucht. Hierzu zählten Fehlstellungen und daraus resultierende Bewegungseinschränkungen, Durchblutungsstörungen durch Gefäßverletzungen, sowie aus Verletzungen der Nervenbahnen entstandene Sensibilitätsausfälle der oberen Extremität.

Diese Auswertung erfolgte nur durch eine Person und die Auswahlkriterien änderten sich im Zuge der Datenerfassung nicht. Die Daten wurden mit Hilfe der Programme ‚SPSS 15‘ und ‚PASW Statistics 18‘ (SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A.) ausgewertet und bearbeitet.

5. Ergebnisse

5.1 Aufteilung des Patientengutes

Für die vorliegende Arbeit wurden die Daten von 148 Patienten ausgewertet, die sich in der Zeit vom 04.01.2007 bis 19.05.2008 mit 159 Frakturen der oberen Extremität in Behandlung der kinderchirurgischen Klinik der Universitätsklinik Jena befanden.

5.1.1 Altersverteilung bei Armfrakturen

Der jüngste erfasste Patient hatte ein Alter von 2 Monaten und der älteste war 15 Jahre alt. Die Altersgruppe der 7-11- Jährigen war am häufigsten vertreten, wie man aus dem Diagramm, in folgender Abbildung 10 (Seite 44), entnehmen kann.

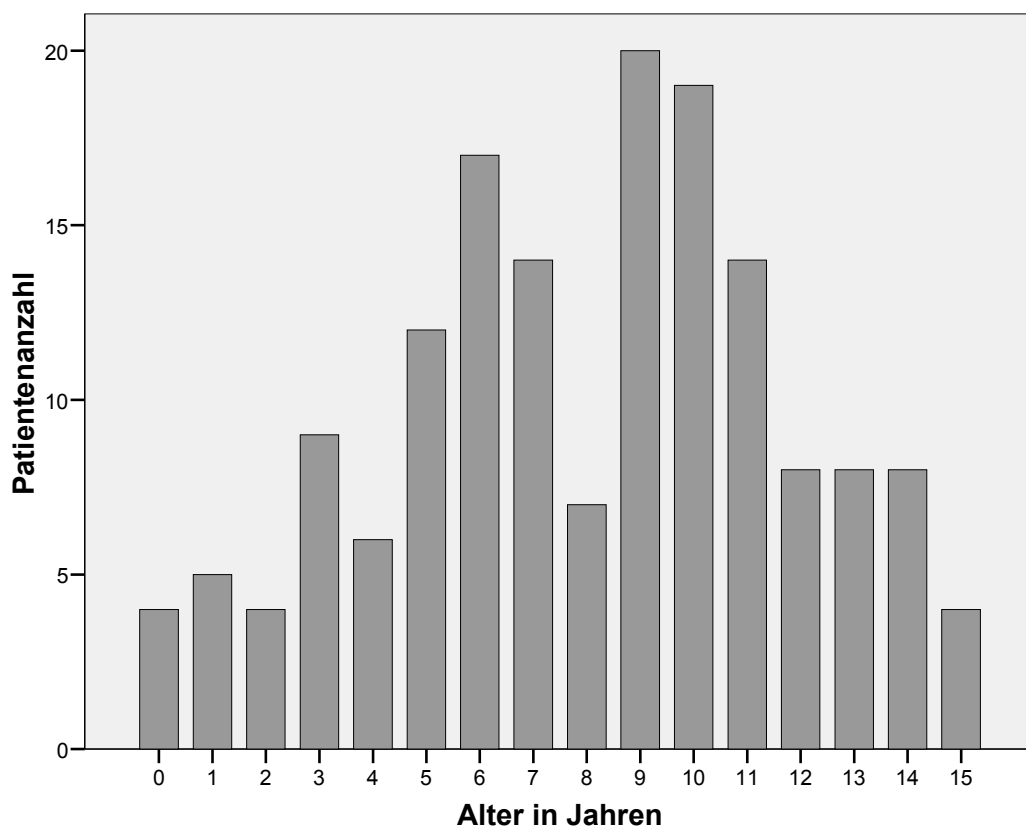


Abbildung 10: Altersverteilung aller untersuchten Patienten

Somit waren Armfrakturen bei den 7-11-jährigen Heranwachsenden, mit der Spitze bei 9 Jahren, am häufigsten. In dieser Altersgruppe kam es zu 74 Frakturen (46,5 %). In der Gruppe 0-1 Jahre ereigneten sich 9 Frakturen (5,7 %), in der von 2-6 Jahren 48 Frakturen (30,2 %) und bei den über 12-Jährigen 28 Frakturen (17,6 %).

5.1.2 Geschlechterverteilung bei Armfrakturen

Bei den beiden Geschlechtern dominierten im Hinblick auf die Inzidenz mit 59,1 % (n=94) der Patienten die Jungen gegenüber den Mädchen mit 40,9 % (n=65).

Jedoch ist die Häufigkeitsverteilung in den unterschiedlichen Altersgruppen bei den Mädchen und Jungen, wie in Abbildung 11 (Seite 45) ersichtlich, verschieden. Während im jüngeren Alter häufiger Mädchen mit Armbrüchen vorstellig werden, sind es ab dem Schulalter deutlich mehr Jungen.

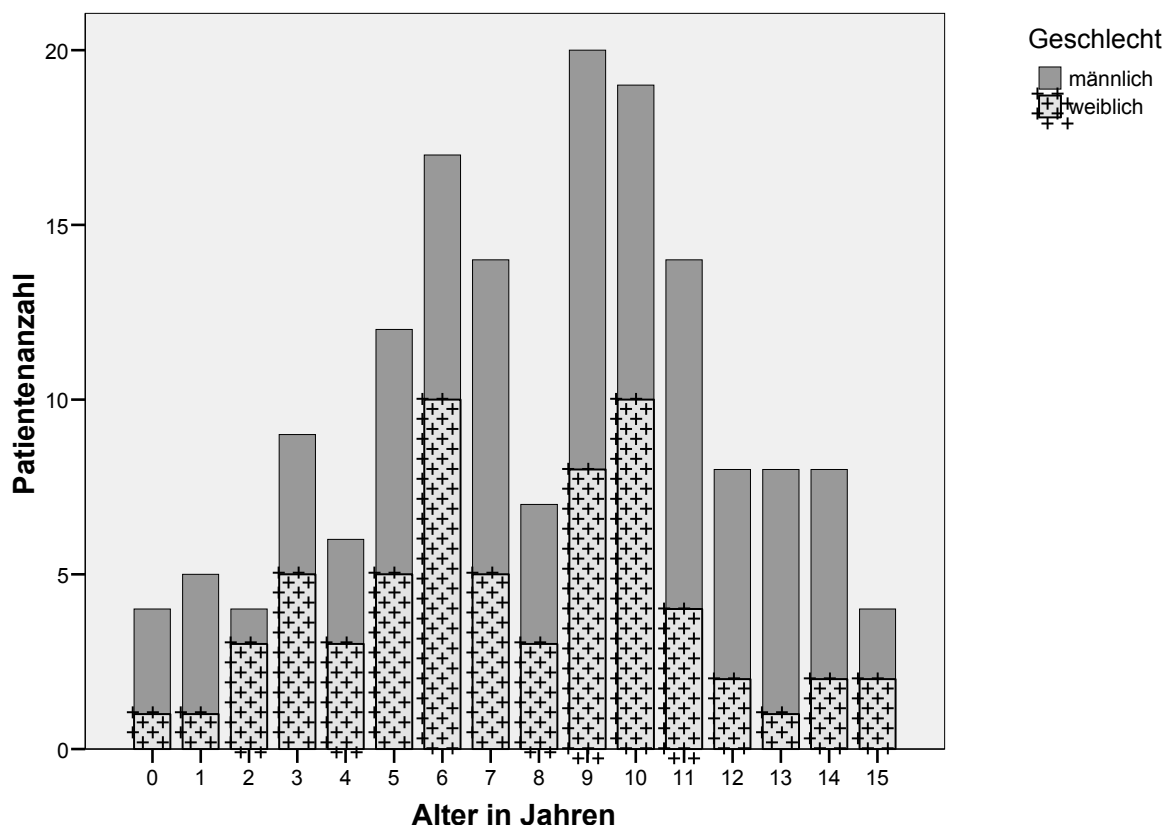


Abbildung 11: Geschlechtsverteilung nach Alter in Jahren

Im Hinblick auf die Körperseite der Fraktur zeigte sich die Auswertung sehr ausgeglichen. 50,9 % (n=81) der Patienten brachen sich einen Knochen der rechten und 49,1 % (n=78) einen der linken oberen Extremität.

5.2 Unfallmechanismen

5.2.1 Unfallhergang

Im Bezug auf das Auftreten von Armbrüchen bei Kindern fand sich eine deutliche Kumulation in der ersten Jahreshälfte. 39 % der Frakturen eines ganzen Jahres wurden, bei den Kindern dieser Untersuchung, zwischen März und Mai therapiert.

Diese entstanden zu jeweils 25,8 % (n=41) bei traumatischen Ereignissen im Haushalt oder beim Sport, gefolgt von Unfällen in der Freizeitbetreuung nach der Schule mit 23,3 % (n=37). Im Straßenverkehr ereigneten sich 3,1 % (n=5) der Frakturen im Armbereich. In der Schule gab es 24 (15,1 %) Armbrüche. Die wenigsten Unfälle, die zu Armfrakturen führten, ereigneten sich im Kindergarten (5 %, n=8). In drei Fällen (1,9 %) konnte der Unfallort aus der Anamnese nicht nachvollzogen werden. Die folgende Abbildung 12 (Seite 47) verdeutlicht die oben genannte Verteilung.

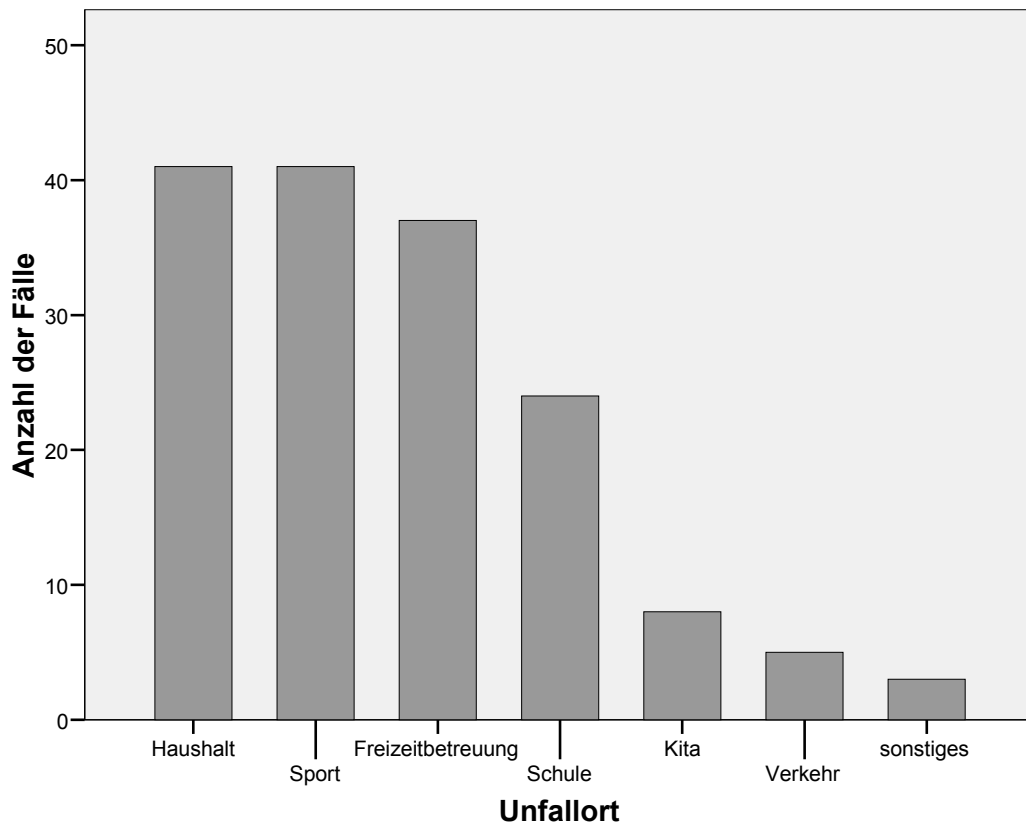


Abbildung 12: Verteilung der Unfallorte

Die Mechanismen des Unfallhergangs waren oft aus den Anamneseerhebungen schwierig nachzuvollziehen. Zumeist lag ein Sturzereignis direkt auf den gestreckten (32,1 %, n=51) oder gebeugten (34,6 %, n=55) Arm zugrunde. Bei axialer Krafteinwirkung auf die Hand, ob beim Sturz oder Abprall von Bällen, stand die im Handgelenk extendierte Hand mit 17,6 % (n=28) gegenüber der Flexionsstellung mit 2,5 % (n=4) deutlich im Vordergrund. Armfrakturen, die im Rahmen von Polytraumata als Unfallmechanismus auftraten, kamen in 6,9 % (n=11) und Stürze auf das Schultergelenk in 3,1 % (n=5) der Fälle vor.

5.3 Verteilung der Frakturarten und Lokalisationen

Weniger als ein Viertel der Frakturen betrafen den Oberarm (23,9 %, n=38). Davon waren 52,6 % (n=20) supracondyläre Humerusschaftfrakturen, welche unter allen Armbrüchen 12,6 % ausmachten. Die Condylen des distalen *Humerus* waren zu 3,1 % (n=5) *ulnar* und zu 1,3 % (n=2) *radial* betroffen. In 6,9 % (n=11) der Fälle kam es zu einer proximalen Humerusfraktur.

Mehr als drei Viertel der untersuchten Brüche kamen an den beiden langen Röhrenknochen des Unterarms vor (76,1%, n=121). Dieses Erkenntnis wird in Abbildung 13 (Seite 48) Von diesen fanden sich über die Hälfte am distalen *Radius* (52,8 %, n=64). Eine Fraktur des *Olecranon*s kam in vier Fällen vor.

Auch im Vergleich aller untersuchten Frakturen nahm der distale *Radius* mit 40,3 % die Vorreiterrolle ein.

Die *Ulna* hingegen war nur in fünf Fällen (3,1 %) proximal und bei vier Patienten (2,5 %) distal, am *Processus styloideus*, betroffen. Zeitgleiche Frakturen von *Radius* und *Ulna* traten insgesamt in 24,5 % (n=39) der Fälle auf.

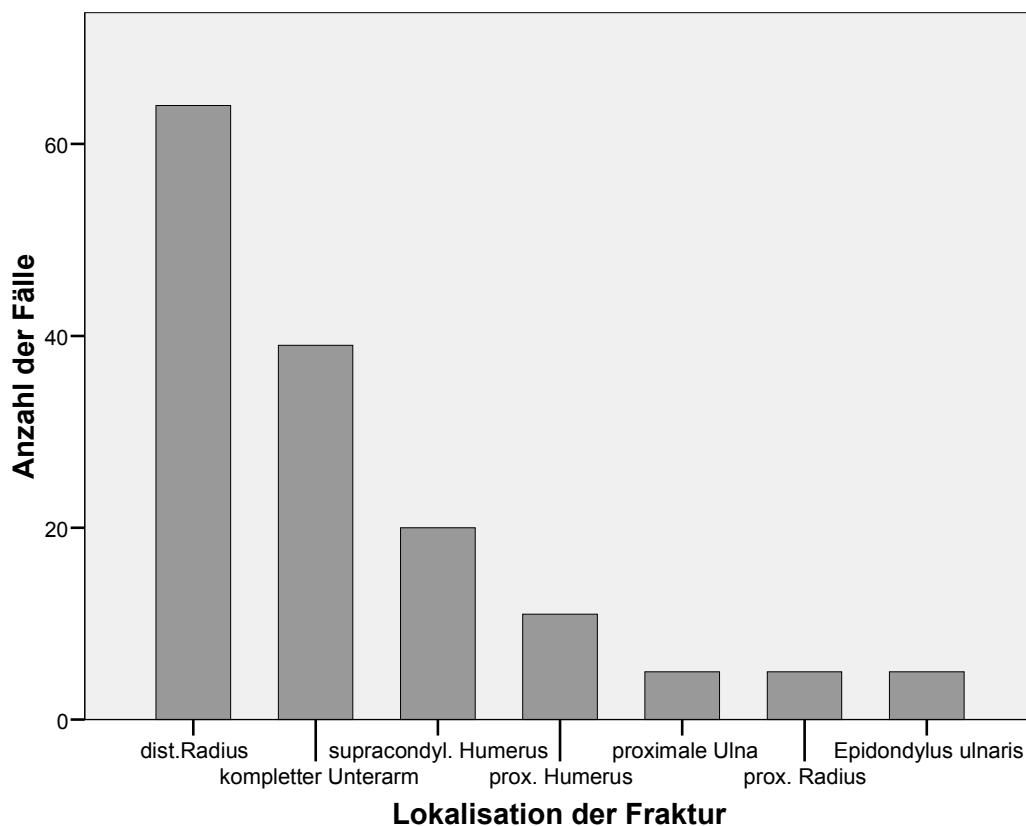


Abbildung 13: Frakturlokalisationen (n>4)

Bei den Armbrüchen kam es nur sehr selten zu begleitenden Luxationen im Ellenbogenbereich. Bei sieben Patienten (4,4 %) war, zusätzlich zu einer Fraktur, das Radiusköpfchen luxiert, welches in vier Fällen als Monteggia-Läsion imponierte.

Im Hinblick auf die Art der Fraktur dominierten in dieser Untersuchung, wie in Tabelle 1 (Seite 49) dargestellt, die Querbrüche mit 35,8 % (n=57) und Wulst- bzw. Stauchungsbrüche mit 25,2 % (n=40). Schrägfrakturen traten in 11,9 % (n=19), Grünholzfrakturen in 11,3 % (n=18), Absplitterungs- bzw. Abrissfrakturen in 7,5 %

(n=12), Trümmerfrakturen in 4,4 % (n=7) und Torsionsfrakturen in 3,1 % (n=5) der Fälle auf.

Tabelle 1: Verteilung der Frakturarten nach ihrer Häufigkeit

	Häufigkeit	prozentuale Häufigkeit
Querfraktur	57	35,8
Stauchungsbruch/ Wulstfraktur	40	25,2
Schrägfraktur	19	11,9
Biegungsbruch/ Grünholzfraktur	18	11,3
Absplitterung/ Abrissfraktur	12	7,5
Trümmerfraktur	7	4,4
Torsionsfraktur	5	3,1
Fissur	1	,6
Gesamt	159	100,0

Bei 6,3 % (n=10) der Frakturen wurde eine Epiphysenlösung diagnostiziert. Davon ein Mal mit epiphysärem und in neun Fällen mit metaphysärem Fragment.

Klinisch imponierten 97,5 % (n=155) der kindlichen Armfrakturen als geschlossene Brüche. Unter den wenigen offenen Brüchen hatte ein Viertel, also ein einzelner Patient, ausgedehnte Weichteilkontusionen mit schwerer Kontamination.

Im Bezug auf den rechten oder linken Arm konnten keine Präferenzen festgestellt werden. Die Verteilung lag so gut wie ausgeglichen mit 50,9 % (n=81) der Frakturen am rechten Arm und 49,1 % (n=79) am linken Arm.

5.4 Versorgung der Armfrakturen

5.4.1 Konservativ behandelte Frakturen

Von den insgesamt 159 Armbrüchen bei Kindern wurden 83 % (n=132) konservativ therapiert. Diese Therapie fand zu zwei Dritteln (69,7 %, n=92) ohne Reposition und zu einem Drittel (30,3 %, n 40) mit geschlossener Reposition statt.

Daraus folgt, dass unter allen hier untersuchten Frakturen 57,9 %, also mehr als die Hälfte, ohne manipulative Therapie versorgt wurden. Das geschah durch Ruhigstellung im Gips-Verband. Dieser wurde, zur Vermeidung von Zirkulationsstörungen, stets gespalten und es erfolgte eine Nachkontrolle des Armes am Folgetag mit Untersuchung von Motorik, Sensibilität und Durchblutung.

5.4.2 Operativ behandelte Frakturen

Die Auswertung der Patientendaten ergab, dass 17 % (n=27) der behandelten Frakturen einer operativen Therapie mittels Osteosynthese unterzogen wurden. Davon bekam ein Patient ausschließlich eine Plattenosteosynthese (3,7 %), drei Frakturen wurden mittels Schraubenosteosynthese (11,1 %) versorgt, bei acht Knochenbrüchen kamen Kirschner-Drähte (29,7 %) zum Einsatz und mit einer elastisch stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) wurden 12 (44,4 %) der kindlichen Armfrakturen versorgt.

Drei Fälle (11,1 %) bedurften einer operativen Versorgung mit mehreren Osteosyntheseverfahren. Diese Fälle werden im Folgenden kurz erläutert:

- Ein 10-jähriger Junge wurde nach einer Trümmerfraktur des kompletten Unterarmschaftes, *Ulna* und *Radius*, mit Kirschner-Drähten und ESIN versorgt.
- Bei einem 11-jährigen Polytraumapatienten wurden die Frakturen am Unterarm mittels Kirschner-Draht und Fixateur externe operativ behandelt. Abbildung 14 (Seite 51) zeigt eine postoperative Röntgenaufnahme dieses Patienten.
- Mit Schrauben- und Plattenosteosynthese wurde die supracondyläre Trümmerfraktur eines 14-jährigen Mädchens retendiert. Abbildung 15 (Seite 52) zeigt eine Kontrollaufnahme aus dem Behandlungsverlauf dieses Mädchens mit auftretenden Konsolidierungsstörungen.



Abbildung 14: Distale Radiusfraktur mit Kirschner-Draht-Spickung und Fixateur externe (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Menzel, Institut für Kinderradiologie, Uni Jena)



Abbildung 15: Supracondyläre Trümmerfraktur mit Schrauben- und Plattenosteosynthese (mit freundlicher Genehmigung von Prof. Menzel, Institut für Kinderradiologie, Uni Jena)

5.4.3 Häufigkeit aufgetretener Spätfolgen

Spätfolgen traten bei 19,5 % (n=31) der kleinen Patienten nach Behandlung des frakturierten Knochens auf. Hierbei spielten vor allem Bewegungseinschränkungen der Gelenke mit einem Anteil von 13,2 % (n=21) aller Frakturen eine Rolle.

Außerdem kam es zu bleibenden Achsfehlstellungen in 5,7 % (n=9) und anhaltenden Sensibilitätsstörungen in 3,8 % (n=6) der Fälle, so am proximalen und distalen *Humerus*, an der proximalen *Ulna* sowie bei Frakturen beider Unterarmschaftknochen. Bleibende Durchblutungsstörungen kamen nicht vor. Eine weiterreichende Evaluierung der aufgetretenen Spätfolgen ist, wie in Kapitel 6.5.1 (Seite 78 f.) dargestellt nicht möglich. In die Auswertung floss der jeweils letzte Behandlungsstand ein.

5.5 Begleitverletzungen

In Folge von Knochenbrüchen, ob offen oder geschlossen, können am umgebenden Weichteilgewebe traumatische Schäden auftreten. In den hier untersuchten Fällen lag das Augenmerk auf Verletzungen von Gefäß- und Nervenbahnen.

Diese kamen bei acht Patienten an den im Folgenden aufgezeigten Lokalisationen vor, was einem Anteil von 5 % aller untersuchten Armfrakturen entspricht.

Gefäßverletzungen traten nur an den *Vasa radialis* auf: in zwei Fällen in Folge einer supracondylären Humerusfraktur und in einem Fall bei Fraktur des distalen *Radius* am Unterarm.

Der *N. radialis* wurde in drei Fällen akut geschädigt: bei Fraktur des supracondylären *Humerus*, des *Radius* und der proximalen *Ulna*.

Der *N. ulnaris* wurde bei einem Patienten in Folge einer Fraktur am *Epicondylus ulnaris* verletzt.

In vier Fällen zeigte sich eine Verletzung des *N. medianus*: bei einem Patienten mit einer supracondylären Humerusfraktur und bei drei Patienten mit kompletten Unterarmschaftbrüchen.

5.6 Analyse der Patientendaten nach Frakturlokalisationen

5.6.1 Frakturen am proximalen *Humerus*

Es wurden 11 Frakturen des proximalen Humerusschaftes behandelt. Diese stellten sich zu 54,5 % (n=6) als Querfrakturen dar. Des Weiteren imponierten sie als Wulst-, Schräg- und Torsionsfrakturen. Das Alter spielte keine Rolle. Sie kamen sowohl bei Säuglingen als auch bei Jugendlichen vor, jedoch fast dreimal häufiger bei Jungen als bei Mädchen.

Das auslösendes Trauma war in 45,5 % (n=5) der Fälle ein Sturz auf die Schulter. Bei zwei kleinen Patienten (18,2 %) konnte sich keine adäquate Traumaursache fremdanamnestisch finden lassen.

Ein Anteil von 72,7 % (n=8) der proximalen Humerusfrakturen wurden konservativ behandelt, davon zum überwiegenden Teil ohne Reposition (75 %, n=6).

Drei der Frakturen (27,3 %) dieser Lokalisation wurden osteosynthetisch versorgt. In zwei Fällen wurde mit ESIN reponiert und fixiert sowie bei einer Fraktur mit Kirschner-Drähten. Spätfolgen traten nach zwei Frakturen auf. Bei einem Patienten zeigte sich eine Fehlstellung der Humerusachse, die aber nicht zu Bewegungseinschränkungen führte. In dem anderen Fall führte eine primäre traumatische Läsion des *N. radialis* zu späterer Sensibilitätsstörung im betreffenden Areal der Hand.

5.6.2 Frakturen am distalen *Humerus*

Hierzu zählen sowohl die supracondylären Frakturen, wie auch Brüche der *Condylus radialis et ulnaris*, sowie die Ausrisse der Epicondylen.

Insgesamt fallen 27 Fälle in diese Kategorie. Supracondyläre Frakturen bilden mit 74,1 % (n=20) die häufigste Diagnose am Oberarmknochen der Kinder. Zumeist finden sich Querfrakturen (60 %, n=12), zu je 10 % (n=2) Torsions- und Trümmerfrakturen und einzelne Schräg-, Grünholz-, Wulstbrüche und eine Fissur.

Diese Verletzung, die sich mit 60 % (n=12) vor allem Jungen zuziehen, entstand zu 75 % (n=15) beim Sturz auf den gebeugten Arm. Außerdem als Folge von Polytraumata, Stürzen auf den gestreckten Arm mit extendierter Hand und ohne eruierbares Trauma. Dabei kam es auch bei zwei Kindern zur begleitenden Luxation von Ellenbogen oder Radiusköpfchen.

Besonders Kinder im Vorschulalter von 2 - 6 Jahren waren betroffen (50 %, n=10).

Mit konservativer Therapie konnten 80 % (n=16) der Patienten versorgt werden. Bei vier (20 %) der supracondylären Humerusfrakturen wurde die Indikation zur operativen Versorgung mittels Kirschner-Drähten (15 %, n=3) und einer Kombination aus Platte und Schraube (5 %, n=1) gestellt.

In knapp einem Drittel der Fälle (30 %, n=6) traten Spätfolgen auf. Bei allen betroffenen Patienten kam es zu bleibenden Bewegungseinschränkungen, bei zwei der Fällen in Kombination mit einer deutlichen Fehlstellung im Ellenbogengelenk. Die

Hälfte der Patienten, bei denen es zu Bewegungseinschränkungen kam, wurde operativ versorgt. Bei einem Patienten trat im Zuge der akuten Verletzung ein Schaden am *N. medianus* auf. Chronisch persistente Gefäß- oder Nervenschäden wurden hingegen nicht beobachtet.

Ausrisse des *Epicondylus ulnaris* fanden sich bei 18,5 % der Oberarmverletzungen. Die ausschließlich männlichen Patienten waren zumeist im Grundschulalter (60 %, n=3) und wurden vorrangig mit einer Schraubenosteosynthese operativ versorgt. Unter diesen kam es in 60% (n=3) der Fälle zu bleibenden Bewegungseinschränkungen. Zwei dieser Kinder wurden operativ versorgt und eines konservativ therapiert. In einem dieser Fälle kam es zur akuten und chronischen Schädigung des *N. ulnaris* im Zuge des Traumas.

Bei zwei Jungen im Alter von 7 und 10 Jahren wurden, als Folge eines Sturzes auf den gebeugten Arm, Abrissfrakturen des *Condylus radialis* diagnostiziert. Beide wurden konservativ im Gips behandelt. In einem Fall kam es zur Bewegungseinschränkung im Ellenbogengelenk nach Frakturheilung.

Verletzungen am *Condylus ulnaris* sowie am *Epicondylus radialis* kamen im Patientengut nicht vor.

5.6.3 Frakturen am proximalen Unterarm

Das *Olecranon* war bei 2,5 % (n=4) aller untersuchten Armbrüche der Jenaer Kinder betroffen. Diese Frakturen imponierten vor allem als Abrissfrakturen in Folge von Stürzen auf den gebeugten Arm (75%, n=3).

Brüche an den proximalen Enden der beiden Unterarmknochen *Radius* und *Ulna* kamen mit jeweils fünf Fällen vor, zu 80 % (n=8) in Folge von Stürzen auf den gebeugten Arm. Mädchen waren viermal häufiger betroffen als Jungen.

Beim proximalen *Radius* überwiegen die Schrägfrakturen mit 40 % (n=2). Radiusfrakturen resultierten aus Unfällen in Sport und Freizeit (60 %, n=3) bei Grund- und Vorschulkindern (40 %, n=2). Je einmal kam es zur begleitenden Luxation im Ellenbogengelenk von Radiusköpfchen oder Ellenbogen.

Ein Patient wurde operativ mittels ESIN versorgt. Die Übrigen wurden konservativ und zu 75 % (n=3) ohne Reposition therapiert.

Spätfolgen im Sinne von Bewegungseinschränkungen kamen bei 40 % (n=2) der kleinen Patienten vor.

Die Querfrakturen überwogen mit 60 % (n=3) bei den Brüchen der proximalen *Ulna*. Betroffen waren mit 60 % (n=3) Kinder von 2-6 Jahren. Die bei Stürzen in Freizeit und Sport (80 %, n=4) entstandenen Frakturen wurden in 60 % (n=3) der Fälle nach Reposition konservativ ruhiggestellt und zu 40% (n=2) mit einer elastisch stabilen intramedullären Markraumschienung operativ retiniert.

In 80 % (n=4) der Fälle zeigte sich das Bild einer Monteggia-Läsion mit begleitender Luxation des Radiusköpfchens. Wie auch bei den proximalen Radiusfrakturen blieben in 40 % (n=2) der Fälle bleibende Bewegungseinschränkungen zurück. Ein Patient erlitt in Folge des Traumas eine *N. radialis* Läsion, welche auch nach abgeschlossener Behandlung noch klinisch manifest war.

5.6.4 Frakturen des gesamten Unterarmschaftes

Bei 24,5 % (n=39) der kleinen Patienten im Untersuchungszeitraum brachen beide Unterarmknochen zugleich. Die Ursachen und klinischen Bilder sind dabei bunt gemischt. Querfrakturen kamen bei 48 % (n=19), Wulstbrüche bei 23,1 % (n=9), Schrägfrakturen bei 10,3 % (n=4) der Fälle vor. Weiterhin stellten sich noch Patienten mit Grünholzfrakturen sowie Torsions- und Trümmerbrüchen vor. Die Kinder zogen sich diese Frakturen sowohl beim Sturz auf den gestreckten (43,6 %, n=17) als auch auf den gebeugten Arm (28,2 %, n=11) zu. Im Sinne einer ‚Colles-Fraktur‘, durch Sturz auf die extendierte Hand, imponierten 15,4 % (n=6) der Frakturen. Eine weitere Ursache für Unterarmschaftbrüche stellten Polytraumata dar.

Bei dieser Frakturlokalisation lagen im Vergleich der Geschlechter die Jungen mit 61,5 % (n =4) vorn. Die Patienten waren hauptsächlich im Grundschulalter (46,2 %, n=18) aber auch die Gruppe der Älteren war mit einem Anteil von 23 % (n=9) häufig vertreten. Der Unfallort wurde mit Freizeit (28,2 %, n=11), Schule (20,5 %, n=8) und Sport (20,5 %, n=8) angegeben.

Eine Epiphysenbeteiligung im Sinne einer Aitken-I-Läsion mit Lyse und metaphysärem Fragment kam in drei Fällen vor.

Eine Wundinfektion mit begleitender Osteomyelitis kam bei einem Kind vor. Diese heilte aber ohne Komplikationen folgenlos aus.

Der Großteil (76,9 %, n=30) der Unterarmschaftbrüche konnte konservativ versorgt werden, davon 56,7 % (n=17) mit Hilfe von Repositionsmanövern.

Neun Patienten (23,1 %) wurden operativ versorgt. In zwei Fällen kam die Kirschner-Drahtspickung der Fragmente und bei sieben Fällen die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung zur Anwendung. So kamen 58,3 % der intramedullären Nägel bei Patienten mit kompletten Unterarmfrakturen zum Einsatz.

Bei 23 % (n=9) der behandelten Patienten traten Spätfolgen in Form von Fehlstellungen, Bewegungseinschränkungen und chronisch persistenten Nervenläsionen auf. Vier dieser Patienten waren zuvor operativ versorgt worden, sowohl mit Kirschner-Drähten als auch mit ESIN.

5.6.5 Frakturen am distalen Unterarm

Vier (2,5 %) aller untersuchten Armbrüche waren an der distalen *Ulna* lokalisiert. Alle Patienten waren männlich und ein bestimmter Unfallmechanismus stach nicht hervor. Im Säuglingsalter von 0-1 Jahren waren zwei der Kinder, die andere Hälfte befand sich mit 7-11 Jahren im Grundschulalter. Eine Fraktur wurde operativ mit Kirschner-Drähten versorgt, alle anderen durch Ruhigstellung im Gips ohne Reposition.

Der distale *Radius* stellte in dieser Untersuchung, wie schon oben erwähnt, die häufigste Frakturlokalisierung dar. Bei 64 Patienten wurde im untersuchten Zeitraum diese Diagnose gestellt, welches einem Gesamtanteil von 40,3 % an allen Armfrakturen und einem Anteil von 52,8 % an den Frakturen des Unterarms entspricht. Auch hier zeigte sich ein mannigfaltiges klinisches Bild. 42,2 % (n=27) stellten sich radiologisch als Wulst- bzw. Stauchungsbruch, je 20,3 % (n=13) als Grünholz- und Querfraktur dar. In der Geschlechterverteilung zeigten die männlichen (54,7 %, n=35) gegenüber den weiblichen Patienten (45,3 %, n=29) eine deutlich höhere Inzidenz.

Die Fraktur des distalen *Radius* fand sich in allen Altersgruppen wieder. Die Altersgruppe der 0-1 jährigen Kinder stellte 3,1 % (n=2), zwischen 2-6 Jahren waren 28,1 % (n=18) betroffen. Den Hauptanteil mit 53,2 % (n=34) stellte die Altersgruppe

der 7-11 Jährigen. Die restlichen 15,6 % (n=10) der distalen Radiusfrakturen zeigten sich bei den älteren Kindern zwischen 12-15 Jahren.

Therapeutisch überwogen die konservativ versorgten Frakturen deutlich. 95,3 % (n=61) wurden im Gipsverband ruhig gestellt. Unter diesen wurden 14 Brüche (21,9 %) vorher einem Repositionsmanöver unterzogen.

Drei der jungen Patienten wurden operativ versorgt. In je einem Fall mit Plattenosteosynthese oder elastisch stabiler intramedullärer Nagelung. Bei einem Patienten wurde sich für eine Kombination aus Kirschner-Drahtspickung und externem Fixateur entschieden (siehe Abbildung 14, Seite 51).

In fünf Fällen (Tabelle 2, Seite 58) kam es nach distalen Radiusfrakturen zu Spätfolgen in Form von Fehlstellungen und Bewegungseinschränkungen, dies entspricht einem Anteil von 7,8 %.

Tabelle 2: Häufigkeitsverteilung von aufgetretenen Spätfolgen nach dist. Unterarmfrakturen

Anzahl		Spätfolgen		Gesamt
		nein	ja	
Lokalisation der Fraktur	dist.Radius	59	5	64
	dist. Ulna (Proc. styloideus)	4	0	4
Gesamt		63	5	68

5.7 Indikationsstellung zur operativen Versorgung

„Reposition – Retention – Rehabilitation“; das sind die Grundpfeiler der Frakturbehandlung im Kindesalter nach Lorenz Böhler (1885-1973), welche ihre Gültigkeit nicht verloren haben. So steht auch heute noch die konservative Therapie im Vordergrund, wie sich auch an dem untersuchten Patientengut der Klinik für Kinderchirurgie des Universitätsklinikums Jena zeigte.

Aus einem Kollektiv von 159 Fällen wurden 27 Frakturen (17 %) der oberen Extremität bei den kindlichen Patienten einer operativen Therapie zugeführt. In folgender Grafik (Abbildung 16, Seite 59) zeigt sich die prozentuale Verteilung der gewählten Therapieverfahren.

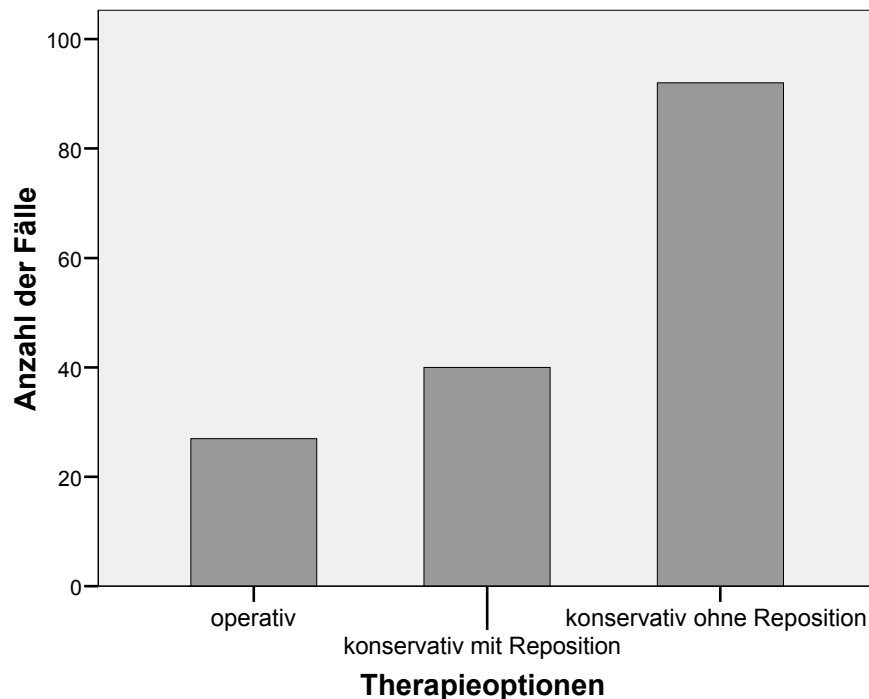


Abbildung 16: Verteilung der Therapieverfahren

Insbesondere tritt die Gruppe der 7-11 jährigen Kinder hervor, nicht nur fielen auf sie die meisten Frakturen (46,5 %), auch wurden hier die meisten Operationen durchgeführt.

Von den 27 osteosynthetisch versorgten Armbrüchen, waren 59,3 % (n=16) der Patienten zwischen 7 und 11 Jahren alt. Acht Jugendliche (29,6 %) waren mit 12-15 Jahren älter, und 11,1% (n=3) waren jünger.

Bei der Geschlechterverteilung zeigt sich ein deutlicher Unterschied. 74,1 % (n=20) der operativ versorgten Patienten waren Jungen und 25,9 % (n=7) Mädchen.

Die am häufigsten osteosynthetisch versorgten Armbrüche stellten die Querfrakturen dar. Grünholzfrakturen und Fissuren wurden vollständig konservativ versorgt.

Die meisten operativ behandelten Frakturen betrafen den gesamten Unterarm (33,3 %, n=9) und den supracondylären *Humerus* (14,8 %, n=4).

In den folgenden Tabellen 3 und 4 (Seite 60) sind alle Frakturformen und Frakturlokalisationen aufgelistet.

Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der operativ versorgten Frakturlokalisationen

Anzahl		operative		Gesam
		nein	ja	
Art der Fraktu	Schrägfraktu	15	4	19
	Torsionsfrakt	3	2	5
	Querfraktu	43	14	57
	Trümmerfrakt	4	3	7
	Bieungsbruc	18	0	18
	Grünholzfrakt			
	Stauchungsbruc	39	1	40
	Wulstfraktu			
	Absplitterung/ Abrissfraktu	9	3	12
	Fissur	1	0	1
Gesamt		132	27	159

Tabelle 4: Häufigkeitsverteilung der operativ versorgten Frakturarten

Anzahl		operative Therapie		Gesamt
		nein	ja	
Lokalisation der Fraktur	prox. Humerus	8	3	11
	supracondyl. Humerus	16	4	20
	Epidondylus ulnaris	2	3	5
	Condylus radialis	2	0	2
	Olecranon	3	1	4
	prox. Radius	4	1	5
	dist. Radius	61	3	64
	proximale Ulna	3	2	5
	dist. Ulna (Proc. styloideus)	3	1	4
	kompletter Unterarm	30	9	39
Gesamt		132	27	159

Das am häufigsten zur Anwendung gekommene Verfahren war die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) mit 51,8 % (n=14). Diese wurde bei Quer- (57,2 %, n=8), Schräg- (21,4 %, n=3), Torsions- (14,3 %, n=2) und Trümmerfrakturen (7,1 %, n=1) verwendet.

Die intramedulläre Nagelung kam, wie in Tabelle 5 (Seite 61) dargestellt, in der Hälfte der Fälle (50 %, n=7) bei Frakturen des kompletten Unterarmes zur Anwendung. Hierbei wurde jeweils in *Radius* und *Ulna* ein Marknagel eingebracht.

Außerdem fand das Verfahren bei singulären Brüchen der langen Röhrenknochen des Unterarmes sowie am proximalen *Humerus* Verwendung.

Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der operativen Versorgung mit ESIN nach Frakturlokalisation

Anzahl		intramedulläre Nagelung		Gesamt
		nein	ja	
Lokalisation der Fraktur	prox. Humerus	9	2	11
	supracondyl. Humerus	20	0	20
	Epidondylus ulnaris	5	0	5
	Condylus radialis	2	0	2
	Olecranon	3	1	4
	prox. Radius	4	1	5
	dist. Radius	63	1	64
	proximale Ulna	3	2	5
	dist. Ulna (Proc. styloideus)	4	0	4
	kompletter Unterarm	32	7	39
Gesamt		145	14	159

Spätfolgen nach abgeschlossener Therapie traten nach ESIN in sechs Fällen auf, was einem Anteil von 42,9 % entspricht.

Die mit elastisch stabiler intramedullärer Nagelung versorgten Patienten waren zwischen 6 und 15 Jahre alt, mit einem Durchschnitt von 9,9 Jahren. Die Altersverteilung stellte sich wie in Abbildung 17 (Seite 62) folgt dar.

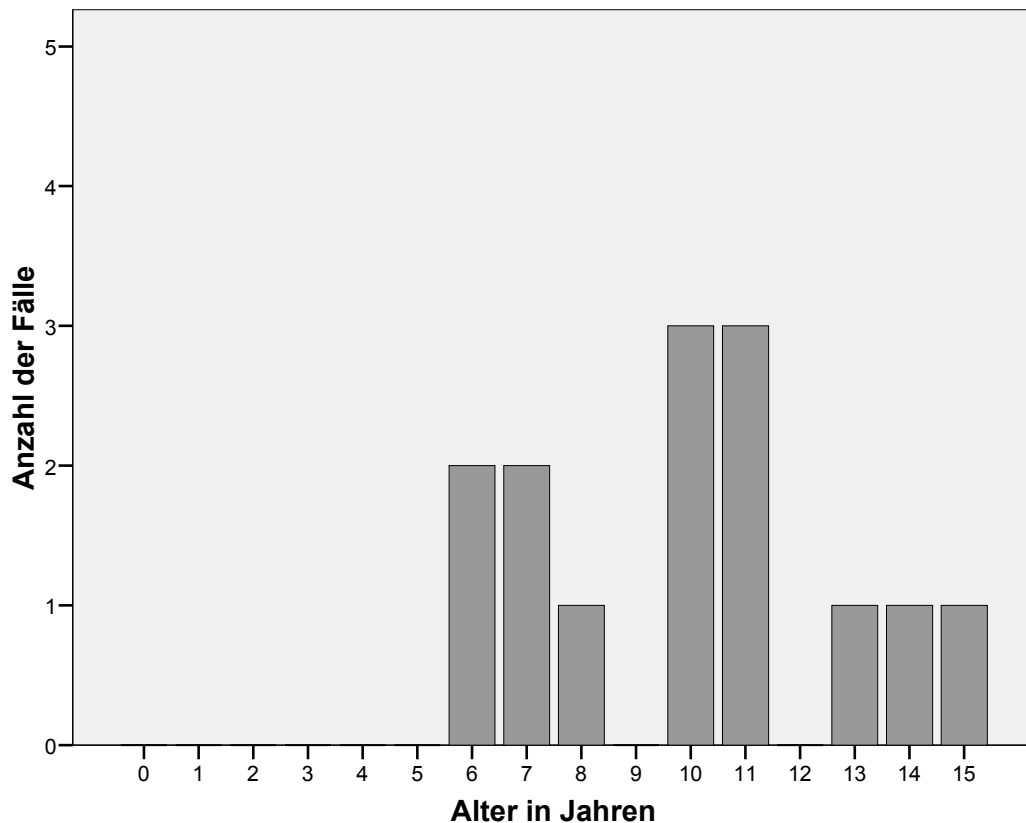


Abbildung 17: Altersverteilung bei Therapie mit ESIN

Als weiteres osteosynthetisches Verfahren dominierte die Kirschner-Drahtspickung, welche bei neun (33,3 %) der operativ therapierten Frakturen eingesetzt wurde. Diese Art der Osteosynthese wurde bei Querfrakturen (66,7 %, n=6) und in je einem Fall (11,1 %) bei Schräg-, Wulst- und Trümmerfrakturen verwendet.

Die Kirschner-Drähte wurden, wie in Tabelle 6 (Seite 63) verdeutlicht, in drei Fällen (33,3 %) zur operativen Versorgung am supracondylären *Humerus* eingesetzt. Außerdem am proximalen *Humerus*, am *Olecranon*, an der distalen *Ulna* und am distalen *Radius*.

Tabelle 6: Häufigkeitsverteilung der Kirschner-Draht-Versorgung nach Frakturlokalisation

Anzahl		Kirschner-Drähte		Gesamt
		nein	ja	
Lokalisation der Fraktur	prox. Humerus	10	1	11
	supracondyl. Humerus	17	3	20
	Epidondylus ulnaris	5	0	5
	Condylus radialis	2	0	2
	Olecranon	3	1	4
	prox. Radius	5	0	5
	dist. Radius	63	1	64
	proximale Ulna	5	0	5
	dist. Ulna (Proc. styloideus)	3	1	4
	kompletter Unterarm	37	2	39
	Gesamt	150	9	159

5.8 Analyse des Outcomes der versorgten kindlichen Frakturen

Nach abgeschlossener Therapie, konservativer sowie operativer Art, zeigten sich bei einigen Patienten Komplikationen und Spätfolgen. Hierunter zählen in dieser Untersuchung Fehlstellungen, Bewegungseinschränkungen sowie bleibende, klinisch relevante Gefäß- und Nervenschädigungen.

Insgesamt zeigten sich 31 Fälle (19,5 %) mit den oben genannten Spätfolgen. In neun Fällen (5,7 %) zeigte sich nach abgeschlossener Konsolidation eine Fehlstellung der Knochen. In je drei Fällen (33,3 %) zeigte sich eine Fehlstellung nach Frakturen des distalen *Radius* und des kompletten Unterarmschaftes, in zwei Fällen (22,2 %) bei Frakturen am supracondylären Humerus und in einem Fall bei einer proximalen Humerusfraktur. Unter den Fehlstellungen blieben vier Fehlstellungen ohne Beeinträchtigung der Bewegungsabläufe. Die übrigen fünf der neun Fälle zählen zu insgesamt 21 Patienten (13,2 %), bei denen es nach Therapieabschluss zu Bewegungseinschränkungen, nicht nur aufgrund der Fehlstellungen, kam. Diese kamen in der Mehrzahl in Folge von Frakturen des supracondylären *Humerus* vor (n=6). Zu bleibenden Sensibilitäts- und Motorikstörungen, im Sinne von Nervenschädigungen nach Abschluss der Frakturbehandlung, kam es bei sechs Patienten (3,2 %). Diese fanden sich zu 50 % (n=3) nach Frakturen des kompletten Unterarmes, außerdem nach Brüchen des prox. *Humerus*, des *Epicondylus ulnaris* und der prox. *Ulna*. Zur Wundinfektion mit komplikationslos ausheilender Osteomyelitis kam es nur bei einer Patientin.

6. Diskussion

Armfrakturen bei Kindern sind mit 10-25 % aller Verletzungen die zweithäufigste Traumafolge bei Kindern (Linhardt et al. 2005). Laut der KiGGS-Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland sind Unfälle für Kinder zwischen dem 1. und 15. Lebensjahr das größte Gesundheitsrisiko und die häufigste Todesursache (Hempel 2006).

Die Therapie ist oft Routine und der wachsende Knochen verhilft zu schnellem Heilungsprozess. Doch besonders bei den kleinen Patienten benötigt die Therapie von Verletzungen viel Erfahrung und ständige Verbesserung. Die richtige Behandlung ist wichtig, damit keine Folgen bleiben, die das Kind eventuell das gesamte Leben behindern oder kosmetisch stören könnten. Denn dies hat nicht nur Auswirkungen für den Einzelnen, sondern mit dem Eintritt in das Erwerbsfähigenalter auch auf die Gesellschaft.

In der Klinik für Kinderchirurgie der Universität Jena wurden anhand von Krankenakten im Zeitraum vom 04.01.2007 bis 19.05.2008 insgesamt 159 Frakturen auf deren Pathogenese und Therapie untersucht. Zur Frage stand, wie das Patientengut aufgestellt ist, wie sich die Häufigkeitsverteilung darstellt, und wie das Outcome der in Jena praktizierten Therapieformen ist.

Ein spezieller Fokus lag auf den Frakturen des supracondylären *Humerus* sowie auf dem Verfahren der intramedullären elastisch-stabilen Marknagelung als Option im operativen Therapieschema.

Dies dient einerseits den Ärzten und der Klinik als Feedback und zum anderen Patienten sowie Eltern zur Informations- und Vertrauensbildung.

Im oben genannten Zeitraum wurden an der Kinderchirurgie der Universitätsklinik Jena 148 Patienten mit 159 Frakturen der oberen Extremität behandelt.

Bei der Altersverteilung (siehe Abbildung 10) zeigte sich eine Häufung zwischen dem 7. und dem 11. Lebensjahr. Der Mittelwert lag bei $8,0 \pm 0,3$ Jahren, welches dem Grundschulalter entspricht.

Nach Linhart lassen sich die Ursachen für Verletzungen und Frakturen bei Kindern in verschiedenen Altersgruppen ihrer Reifestufe zuordnen (Linhart 2005).

Bis zum 2. Lebensjahr geschehen die meisten Unfälle in Folge inadäquater Beaufsichtigung. Dies sind meist *Humerus*- und *Clavicula*-Frakturen (Rennie et al. 2007). Im Kindergartenalter, 2-5 Jahre, durchleben die Kinder eine ‚imitative Phase‘ und ziehen sich sogenannte Erfahrungsverletzungen zu. Hier sind besonders distale *Humerus*- und distale *Radius*-Frakturen häufig (Rennie et al. 2007).

In der, auch in dieser Untersuchung, größten Altersgruppe der 6 bis 11- Jährigen, erwerben Kinder die Kompetenz und Kontrolle über ihre eigenen Funktionen. Sie wollen sich ausprobieren und machen Grenzerfahrungen, insbesondere in Kombination mit Sport, Fahrradfahren und Raufereien.

Die älteren 11 bis 14- jährigen Jugendlichen orientieren sich hauptsächlich an Gleichaltrigen. Neben Unfällen kommen in dieser Altersgruppe häufig Verletzungen und Frakturen aufgrund von ‚Autoaggression‘, als Mittel für Loslösung und Auflehnung vor. In diesen beiden älteren Altersgruppen brechen die Kinder sich nach Rennie vorwiegend den distalen *Radius*, sowie Fingerknochen (Rennie et al. 2007).

Dies betrifft im jugendlichen Alter vor allem Jungen. Das konnte auch an der Verteilung der Jenaer Patienten gezeigt werden, bei denen ab dem 11. Lebensjahr das Gleichgewicht deutlich kippt und mehr Jungen als Mädchen zur Frakturversorgung vorstellig wurden. Die Jungen waren im Mittel mit 8,4 Jahren älter als die weiblichen Patienten mit 7,5 Jahren. Dies kann einerseits durch verschiedene Entwicklungsstufen im Sinne von Linhardt (Linhardt et al. 2005) erklärt werden, andererseits jedoch auch mit den verschiedenen Wachstumsschüben während der Reifung des knöchernen Skeletts, welche bei Jungen und Mädchen unterschiedlich ausfallen. Während des Wachstums gibt es Phasen in denen die Mineraldichte des Knochens relativ abnimmt und er so anfälliger für Frakturen wird (Hedström et al. 2010, Faulkner et al. 2006).

Auch im Bezug auf alle Frakturen zeigte sich die Verteilung der Geschlechter mit einem Unterschied von 8,2 % (n=29), in etwa 1:1,5 zu Gunsten der Jungen, nicht ganz ausgeglichen. Diese Tatsache spiegelt sich auch in der Literatur (Fitze 2008, Lieber et al. 2010, Leventhal et al. 2008, Omid et al. 2008a, Zionts et al. 2009, Hempel 2006), und anderen vergleichbaren Studien wieder (Beckmann 2006, Karbowski 2003).

Die Hauptsaison für Armbrüche lag mit 39 % aller Frakturen in den Frühlingsmonaten März bis Mai. 20 % der Brüche ereigneten sich zwischen Juli und September.

Die Häufung im Frühling kann verschiedene Ursachen haben. Zum einen hat nach langer Winterpause die Zeit zum Spielen im Freien wieder begonnen, zum anderen kann auch der Zeitraum der ausgewerteten Daten ursächlich sein. Diese reichen zwar über das gesamte Jahr 2007, jedoch nur über die ersten 4 ½ Monate des Jahres 2008. Das ist ein Grund dafür, dass von März bis Mai mehr Patienten in dieser Untersuchung erfasst wurden. Insofern ist der Datensatz ungeeignet um eine Aussage über die jahreszeitliche Häufung machen. Auch andere Untersuchungen fanden eine Häufung in den Sommermonaten im Vergleich zu den Wintermonaten (Karbowski 2003, Hedström et al. 2010)

6.1 Frakturdaten

Die Rechts- oder Linkshändigkeit spielte bei Unfällen und Stürzen keine Rolle. Beide Seiten waren im Bezug auf Frakturen der oberen Extremität, mit einer Differenz von 1,9 % (n=3) fast gleich häufig betroffen. Das Hervortreten der linken, beziehungsweise nicht-dominanten Seite, welches in anderen Untersuchungen häufig gefunden wurde (Zionts et al. 2009, Baumann 1965, Karbowski 2003, Omid et al. 2008a, Zimmermann et al. 2004), konnte sich hier nicht bestätigen. Als Grund hierfür ist am wahrscheinlichsten anzunehmen, dass der Datensatz dieser Untersuchung zu klein war.

Die Kinder und Jugendlichen zogen sich Frakturen an der oberen Extremität zumeist im Haushalt oder beim Sport zu. In 25,8 % der Fälle wurde dies als Unfallort in der Anamnese angegeben. Auch in anderen Studien stellte sich heraus, dass besonders im Haushalt, in der Freizeit zu Hause die meisten Unfälle mit Verletzungsfolge entstehen (Hempel 2006). In der Schule ereigneten sich nur 15,1 % (n=24) und im Kindergarten nur 5 % (n=8) der Unfälle, welches sich von einer Studie der Bundesarbeitsgemeinschaft Kindersicherheit im vergleichbaren Zeitraum abhebt. Dort wurde in mehr als der Hälfte (58,8 %) der eingeflossenen Verletzungen bei Kindern Schule oder Kindergarten als Unfallort angegeben. In Heim und Freizeit geschah der Unfall in 31,6 % der Fälle (Bundesarbeitsgemeinschaft "Mehr Sicherheit für Kinder e.V." 2007). Man muss jedoch diese Ergebnisse abgrenzen, da es sich hier nicht nur um Verletzungen des Armes handelt.

Laut der eben angeführten Untersuchung beeinflussen aber auch unterschiedliche Erfassungskriterien die Unfallhäufigkeit in den einzelnen Bereichen. So wird zum Beispiel in Schule oder Kindergarten nach Unfällen viel öfter zum Arzt gegangen als zu Hause, da es sich um andere Versicherungsverhältnisse handelt (Berufsgenossenschaften). Daraus resultierend kann es zur relativen Übererfassung kommen. Bei Unfällen im Verkehr kommt es hingegen nicht immer zur Aufnahme durch die Polizei und so eher zu einer Untererfassung (Hempel 2006).

Bei den Unfallmechanismen überwog die Anzahl der Stürze auf die Hand in Extensionsstellung denen in Flexionsstellung, was einem natürlichen Abwehrmechanismus entspricht (Karbowski 2003).

Die Lokalisationen der Frakturen lassen sich schwer mit denen anderer Untersuchungen vergleichen, da diese sich auf einzelne Knochen oder Gelenke beziehen.

In dieser Untersuchung an der Uniklinik Jena wurde die gesamte obere Extremität, mit Ausnahme Schulter- und Handgelenk sowie Hand- und Fingerknochen bei vorhandenen Frakturen im Kindes- und Jugendalter untersucht.

Eher selten war der Oberarm betroffen (23,9 %, n=38). Die meisten der am *Humerus* lokalisierten Frakturen betrafen den distalen, supracondylären Anteil (52,6 %, n=20), 28,9 % waren am proximalen Anteil, als subcapitale Humerusfrakturen, lokalisiert.

Am Unterarm kamen am häufigsten die distalen Radiusfrakturen (40,3 %, n=64), gefolgt von den kompletten Unterarmschaftfrakturen (24,5 %, n=39) vor, welche *Radius* sowie *Ulna* mit einbeziehen.

Im Vergleich zum *Radius* war die *Ulna* nur in neun Fällen (5,7 %), also im Verhältnis 4:1 betroffen.

Bei den Frakturarten waren die für das Kindesalter typischen Grünholzfrakturen, sowie Wulst- bzw. Stauchungsbrüche (von Laer 2007) mit insgesamt 36,5 % auch am häufigsten vertreten. Durch die hohe, starre Stabilität des Bandapparates im Vergleich zum kindlichen Knochen (Wu et al. 2002, von Laer 2007) kam es in Kombination mit einer Fraktur nur sehr selten zu Luxationen. In 4,4 % (n=7) kam es zu begleitender Radioskopfluxation, welche einer Monteggia-Läsion entspricht (von Laer 2007, Weise 2004).

Wie auch in der Literatur allgemein proklamiert (Klohs et al. 2000, von Laer 2007, Farsetti et al. 2001, Fitze 2008, von Laer 2005, Daum 1974, Katzer et al. 1999, Linhardt et al. 2005, Vocke 1998, von Laer et al. 2007) wurde in Jena vordergründig konservativ behandelt (83 %, n=132).

Bei 92 Patienten (57,9 %), die konservativ versorgt worden waren, konnte der Bruch ohne vorheriges Manipulationsmanöver im Gipsverband ruhig gestellt werden (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Häufigkeitsverteilung der konservativen Therapieschemata bei verschiedenen Frakturarten

Anzahl		konservative			Gesam
		nein	mit Repositio	ohne Repositio	
Art der Fraktu	Schrägfraktu	4	9	6	19
	Torsionsfrakt	2	0	3	5
	Querfraktu	14	20	23	57
	Trümmerfrakt	3	2	2	7
	Biegungsbruc	0	3	15	18
	Grünholzfrakt	0	3	15	18
	Stauchungsbruc	1	5	34	40
	Wulstfraktu	1	5	34	40
	Absplitterung/ Abrissfraktu	3	1	8	12
	Fissur	0	0	1	1
Gesamt		27	40	92	159

Besonders bei Grünholzfrakturen ist sich die Literatur uneins, ob die gegenüberliegende Kortikalis im Zuge der Reposition durchgebrochen werden sollte, da ein hohes Refraktur-Risiko besteht. Die Leitlinien empfehlen dieses Vorgehen (Fitze 2008, Beckmann 2006). Andere Untersuchungen hingegen stellten fest, dass ein Durchbrechen der Kortikalis nicht vor Refrakturen schützt (Schmuck et al. 2010). An der Klinik für Kinderchirurgie in Jena wurden zwar, wie aus Tabelle 7 (Seite 68) hervorgeht, alle Grünholzfrakturen konservativ in Gipsruhigstellung versorgt, jedoch nur in drei Fällen (16,7 %) nach vorherigem Repositionsmanöver in Narkose.

In 27 Fällen musste die Fraktur operativ retendiert und fixiert werden. Das entspricht einem Anteil von 17 % aller untersuchten Frakturen der oberen Extremität.

Die kindgerechten minimal-invasiven Verfahren der intramedullären, elastisch-stabilen Nagelung (44,4 %) und der Kirschner-Drahtspickung (29,7 %) kamen bevorzugt zum Einsatz.

Begleitend zu den Frakturen traten bei den kleinen Patienten in dieser Untersuchung auch Verletzungen von anatomisch benachbarten Nerven und Gefäßen auf (5 %, n=8).

Zu Spätfolgen bei Frakturen der oberen Extremität kam es in 19,5 % (n=31) der untersuchten Fälle. In folgenden Tabellen (Tabelle 8 und 9, Seite 69) sind die absoluten Häufigkeiten von Spätfolgen nach konservativer sowie operativer Therapie dargestellt.

Tabelle 8: Häufigkeitsverteilung aufgetretener Spätfolgen der konservativen Therapieschemata

Anzahl		konservative Therapie			Gesamt
		nein	mit Reposition	ohne Reposition	
Spätfolgen	nein	14	29	85	128
	ja	13	11	7	31
Gesamt		27	40	92	159

Tabelle 9: Häufigkeitsverteilung aufgetretener Spätfolgen bei operativer Therapie

Anzahl		operative Therapie		Gesamt
		nein	ja	
Spätfolgen	nein	114	14	128
	ja	18	13	31
Gesamt		132	27	159

Unter den Spätfolgen dominierten Bewegungseinschränkungen der Gelenke, in Form von Behinderung der Extension, Flexion, Supination, Pronation, oder Kombinationen aus diesen, mit etwa zwei Dritteln (67,7 %, n=21).

Unter allen untersuchten Frakturen entspricht das einem Anteil von 13,2 %. Bewegungseinschränkungen bedürfen aber auch meist einer ganzen Weile, ehe sie verschwinden. Dies betrifft besonders mehrteilige Gelenke, wie das des Ellenbogens.

Bei einer Untersuchung von L.E. Zions glich sich in 94 % der Fälle nach sechs Monaten der Bewegungsumfang der betroffenen und der nicht betroffenen Seite wieder aus (Zions et al. 2009).

Im unserer Untersuchung an der Klinik für Kinderchirurgie in Jena gab es keine einheitlichen Wiedervorstellungen, denn diese waren unregelmäßig oder unvollständig. Ob die Patienten nicht erneut einbestellt wurden oder ihre ausgestellten Termine nicht wahrnahmen ist aus der Aktenlage nicht hervorgegangen. Bei der Auswertung der Untersuchung floss jeweils der Stand der zuletzt dokumentierten Nachuntersuchung mit ein. So ist es durchaus möglich, dass hier aufgeführte Bewegungseinschränkungen oder Nervenschäden im Laufe einer längeren Zeit weiter regredient wurden oder sogar gänzlich verschwanden.

6.2 Frakturlokalisationen

6.2.1 Proximaler Humerus

Am proximalen *Humerus* wurden 6,9 % (n=11) der Frakturen behandelt. Das mittlere Alter der Patienten lag bei $7,6 \pm 1,4$ Jahren.

Proximale Oberarmfrakturen kamen sowohl bei Säuglingen wie auch bei Jugendlichen vor, jedoch kaum im Kleinkindalter, was typisch für diese Fraktur ist (Knorr et al. 2005, von Laer 2007). Bei zwei der 11 Kinder konnte keine Traumaursache anamnestisch eruiert werden. Eines dieser Kinder war ein neunjähriges Mädchen mit einer Wulstfraktur. Das andere Kind war ein sechs Monate alter Säugling der mit einer Torsionsfraktur vorstellig wurde. Aufgrund der ungewöhnlichen Frakturart könnte dies ein Hinweis auf Kindesmisshandlung darstellen. Laut einer amerikanischen Studie aus dem Jahr 2008 sind körperlich misshandelte Kinder durchschnittlich 6,8 Monate alt (Leventhal et al. 2008). Auch in Deutschland liegt der Häufigkeitsgipfel bei 6 Monaten mit einer Mortalitätsrate von 47 % (Stöver 2009).

Drei der proximalen Humerusfrakturen wurden in Jena operativ versorgt. Dabei wurde das Verfahren der elastisch-stabilen Markraumschienung bevorzugt. Dies entspricht auch der gängigen Überzeugung anderer Autoren. Proximale Oberarmbrüche sollten vorwiegend konservativ versorgt werden. Bei indiziertem operativen Vorgehen, auch am Oberarmschaft, wird die ESIN der

Kirschner-Drahtspickung vorgezogen (Knorr et al. 2005, von Laer 2001, Schratz et al. 1998, Lascombes et al. 2006).

Nur 28,9 % der Oberarmfrakturen fanden wir am proximalen Ende des Humerus. Das ist ein deutlich geringerer Anteil als ihn Knorr fand (Knorr et al. 2005). Dafür kam es in dem hiesigen Patientengut nur zu einer Nervenläsion (2,6 %) als Spätkomplikation, welches sich von neun Nervenschäden (7,3 %) und zwei Wundinfektionen (1,6 %) in der oben genannten Untersuchung abhebt (Knorr et al. 2005).

6.2.2 Distaler *Humerus*/ Supracondyläre Frakturen

Die Lokalisation dieser Frakturen proximal des Ellenbogengelenkes ist typisch für das Kindesalter und kommt bei Erwachsenen fast nicht mehr vor. Dies liegt darin begründet, dass die Festigkeit der Ligamente und der Gelenkkapsel am Ellenbogengelenk größer ist, als die des Knochens. Daher kommt es seltener zu Luxationen des Gelenkes. Der Knochen bricht erwartungsgemäß am Ort des geringsten Widerstandes außerhalb des Kapselapparates (Wu et al. 2002).

In die Gruppe der supracondylären Humerusfrakturen fielen in dieser Untersuchung 12,6 % (n=20) der Armbrüche bei Kindern und Jugendlichen. In 60 % dieser Fälle war der rechte Arm betroffen. Andere Autoren sahen eine Wichtung auf der linken Seite, die bei dem Jenaer Patientengut nicht bestätigt werden konnte (Zionts et al. 2009, Omid et al. 2008a, Karbowski 2003, Weinberg et al. 2002).

Die Patienten waren zwischen 3 Monaten und 14 Jahren alt. Das Alter lag im Mittel bei $6,6 \pm 0,9$ Jahren. Dies deckt sich mit anderen Untersuchungen (Bohn et al. 2010, Eberl et al. 2010, Horst et al. 2010, Müller et al. 2010, Pirker et al. 2005, Omid et al. 2008a, Weinberg et al. 2002). Supracondyläre Oberarmfrakturen sind eine typische Verletzung des Grundschulalters.

Die Mehrzahl der Betroffenen war mit einem Verhältnis von 3:2 männlich. Auch bei anderen Studien zu supracondylären Frakturen wurden deutlich mehr Jungen als Mädchen behandelt (Zionts et al. 2009, Karbowski 2003, Weinberg et al. 2002). Nur bei R. Omid zeigte sich das Geschlechterverhältnis ausgeglichen (Omid et al. 2008a). Begleitende akute Nervenverletzungen werden in der Literatur mit einem Anteil von 2-21 % beschrieben (Lange et al. 2010, Berger et al. 2010, Müller et al. 2010). Im Jenaer Patientengut traten sie in einem Fall am *N. medianus* auf. In zwei Fällen lag eine akute traumatische Schädigung der *A./ V. radialis* vor.

Die schon von den alten Ägyptern beschriebene Behandlung solcher Frakturen mittels Extensionsmanipulation wird heute weder empfohlen noch angewandt (Schofer et al. 2003).

Die in der Literatur vielfältig verwendeten Klassifikationen (von Laer, Baumann, Gartland) kamen in den Befunderhebungen dieser Untersuchung nicht einheitlich zur Anwendung oder waren nicht dokumentiert, wodurch sie in die Auswertung nicht mit einfließen.

Nicht dislozierte Frakturen ohne begleitende Komplikationen wurden konservativ mit Oberarmgipsschiene versorgt. Dies ist, soweit möglich, auch weiterhin Therapie der Wahl, (von Laer et al. 2002, von Laer 2007, Karbowski 2003, Bohn et al. 2010, Weinberg et al. 2002).

Jeder fünfte Bruch wurde operativ, mit offener oder geschlossener Reposition und Retention, versorgt (20 %, n=4). Bis auf einen komplizierten mehrfragmentären Bruch wurden alle Patienten mittels Kirschner-Drahtspickung versorgt. Dies entspricht dem in der Literatur allgemein gültigen Goldstandard-Verfahren (Eberl et al. 2010, Zions et al. 2009, Ersan et al. 2009, Joeris et al. 2010, Karbowski 2003, von Laer et al. 2002, Bohn et al. 2010, Weinberg et al. 2002).

Bei etwa jedem dritten Patient kam es in Folge der supracondylären Fraktur zu Spätfolgen (30 %, n=6). Die Gruppe dieser Patienten setzte sich zu gleichen Teilen aus operierten und konservativ versorgten Patienten zusammen. Alle klagten nach Abschluss der Konsolidierung ihrer Fraktur über Bewegungseinschränkungen im Ellenbogengelenk. Fehlstellungen kamen nur bei zwei Patienten vor, die beide operativ mittels Kirschner-Drahtspickung versorgt waren. Dies entspricht einem Anteil von 10 % aller Frakturen dieser Lokalisation. Nervenschäden, im Sinne von bleibenden Gefühlsstörungen trat bei keinem der Patienten auf.

Diese Ergebnisse stellen sich in der Literatur durchaus anders dar. Fehlstellungen nach supracondylären Oberarmbrüchen kamen zu 0,8 % (D.Taskaya 2010), 9,9 % (Karbowski 2003) oder 11,7 % (Weinberg et al. 2002) vor. Von Bewegungseinschränkungen wurde hingegen in diesen Untersuchungen nicht berichtet (Weinberg et al. 2002, D.Taskaya 2010, Karbowski 2003).

6.2.3 Komplette Unterarmschaftfrakturen

Einen Bruch beider Unterarmknochen, *Ulna* und *Radius* zugleich, zogen sich 39 (24,5 %) der Kinder und Jugendliche zu. Jeder dritte Patient war männlich und das Alter lag im Mittel bei 8,4 Jahren. Dies entspricht einer Frakturanalyse in den Leitlinien der Gesellschaft für Kinderchirurgie (Fitze 2008).

Die konservative Therapie der Unterarmschaftfrakturen im Kindes- und Jugendalter wurde hier, wie auch von anderen Autoren beschrieben, bevorzugt (von Laer 2007, Beckmann 2006, Wrede 2001, Richter et al. 1998). Das Korrekturpotential ist jedoch umso geringer, je weiter proximal die Fraktur liegt. Aufgrund der Komplikationsrate wird immer öfter die operative Therapie bevorzugt (Mann et al. 2003).

Neun Patienten wurden in dieser Untersuchung operativ versorgt, davon 77,8 % mit intramedullärer Nagelung als Osteosyntheseverfahren. Dieses wird als adäquates Osteosyntheseverfahren an langen Röhrenknochen, wie *Radius* und *Ulna*, auch von anderen Autoren und den aktuellen Leitlinien der Gesellschaft für Kinderchirurgie empfohlen (Richter et al. 1998, Beckmann 2006, Fitze 2008, Lieber et al. 2010, Lascombes et al. 1990, von Laer 2007). Im Gegensatz dazu lag vor 35 Jahren die Meinung noch anders. Wenn überhaupt operativ am Unterarmschaft vorgegangen werden sollte, dann nur mit offener Operation und Plattenosteosynthese (Daum 1974).

Zu den Komplikationen zählten Bewegungseinschränkungen, Fehlstellungen und auch persistierende Nervenläsionen. Letztere fanden sich bei drei Patienten, von denen nur einer nach offener Fraktur operativ versorgt wurde. Die anderen wurden konservativ mit Oberarmgips versorgt. So bestätigt sich die Meinung der oben angeführten Autoren, dass die konservative Therapie nicht immer die Beste und Komplikationsloseste ist, sondern vor allem bei Unterarmschaftbrüchen die Indikation zur osteosynthetischen Versorgung mittels intramedullärer Nagelung großzügig gestellt werden kann.

6.2.4 Distale Radiusfrakturen

Die am häufigsten betroffene Frakturlokalisation in dieser Untersuchung lag am distalen Ende des *Radius*. Nicht umsonst werden Frakturen an dieser Stelle als die am häufigsten vorkommenden beschrieben (von Laer 2007).

Von den untersuchten Kindern und Jugendlichen zogen sich 43,2 % (n=64) einen dort lokalisierten Bruch zu, was einem Anteil von 40,3 % aller hier untersuchten Frakturen und 52,9 % aller Unterarmfrakturen ausmacht. In einer Untersuchung des Uniklinikums Münster lag der Anteil bei 30,9 % der untersuchten Unterarmbrüche (Beckmann 2006).

Diese Frakturen wurden fast ausschließlich, zu 95,3 %, konservativ behandelt. Fast jeder Vierte (23 %, n=14) bekam eine konservative Therapie nach vorausgegangener Reposition. Dieses Vorgehen, aufbauend auf den Eigendynamiken des Knochens am wachsenden Skelett, wird empfohlen. Der distale *Radius* bewältigt mit seiner Epiphysenfuge 80 % des Längenwachstums des Knochens und hat so enormes Potential Dislokationen auszugleichen (Täger et al. 2007, Klohs et al. 2000, von Laer et al. 2007, von Laer 2007).

6.3 Vergleich mit Datenerhebung an der Klinik für Kinderchirurgie in Jena 1969-1979 über ambulant und stationär versorgte Unterarmfrakturen

Im Jahre 1985 veröffentlichte die Universität Jena verschiedene Untersuchungen zu Unterarmbrüchen im Kindesalter an der Klinik für Kinderchirurgie aus den Jahren 1969-1979 (Clausner et al. 1984b, Clausner 1984, Clausner et al. 1984a, Ebeling et al. 1984b, Ebeling et al. 1984a, Schickedanz et al. 1984a, Schickedanz et al. 1984b). Diese beschränkten sich ausschließlich auf Frakturen von *Radius* und *Ulna* und umfassten mit 643 bzw. 548 Kindern ein deutlich größeres Patientenkollektiv, aber lassen sich gut mit den Zahlen aus der heutigen Zeit vergleichen. Dafür wurden nun die Auswertung der Brüche von proximalen und distalen Frakturen von Elle und Speiche, sowie die Ergebnisse der komplett frakturierten Unterarme zusammengekommen und den anderen Untersuchungen gegenübergestellt.

Damals, wie heute, traten die frakturauslösenden Ereignisse zumeist im Frühling oder Herbst auf (Schickedanz et al. 1984a).

Leichte Abweichung fand sich im Bezug auf das Geschlecht: In der Geschlechterverteilung damals überwogen jeweils die Jungen deutlich mit 64,7 % (Schickedanz et al. 1984a) beziehungsweise 66,4 % (Schickedanz et al. 1984b). Bei der aktuellen Untersuchung schrumpfte dieser Abstand auf 55,4 % gegenüber einem Anteil von 44,6 % Mädchen bei Frakturen am Unterarm.

Die damaligen Analysen zeigten, wie auch in der Literatur immer wieder beschrieben, das häufigere Auftreten der Unterarmbrüche an der linken Seite in jeweils 55,1 % der Fälle (Schickedanz et al. 1984b, Schickedanz et al. 1984a). Dieser Anteil lag bei Brüchen des Unterarms in unserer Untersuchung nur noch bei 51,2 %.

Eine deutliche Veränderung zeigte sich jedoch in der Örtlichkeit des Unfallgeschehens. Damals wurde in der Auswertung eine absteigende Rangfolge aus Freizeit, Haushalt, Schule und Sport ermittelt. Heute hingegen änderte sich dies zu Haushalt, Sport, Freizeit und Schule. Dies könnte eine Aussage darüber treffen, dass die Kinder und Jugendlichen ihr Spielverhalten über die Zeit geändert haben, von der Natur und Umgebung weg, hin Richtung Häuser/ Wohnungen und Sportvereine.

Operativ versorgt wurden in den 1970er Jahren 35 der 372 Unterarmfrakturen, was einem Anteil von 9,4 % entspricht (Schickedanz et al. 1984b). Im Jahre 2007/2008 waren es an der selben Klinik in Jena 17 von 121 Unterarmfrakturen. Dies entspricht einem Anteil von 14,0 %, also ein deutlicher Anstieg.

Als Osteosyntheseverfahren wurden damals wie heute zwei Verfahren verwendet. Neben der Kirschner-Drahtspickung und vor allem im Schaftbereich intramedulläre Verfahren. Damals mit sogenannten Rush Pins, heute mittels ESIN. Damals lag der Anteil der intramedullären Nagelung bei 51,4 % aller am Unterarm durchgeführten frakturstabilisierenden Operationen. Heute stieg dieser, sicher auch durch besseres Material auf einen Anteil von 70,6 %.

Das häufigere operative Vorgehen ist nicht Ausdruck einer schärferen Indikationsstellung oder einer Zunahme schwerer Krankheitsbilder geschuldet, sondern vielmehr eine nachvollziehbare Entwicklung auf Grund von verbesserten und verträglicheren Operations- und auch Narkoseverfahren. Ob das unbedingt auch besser für die Patienten ist, kann nicht eindeutig nachvollzogen werden. Bei operierten Patienten mit Unterarmfrakturen mussten damals 14,3 % (n=5) der Patienten mit Spätfolgen im Sinne von Bewegungseinschränkungen leben (Schickedanz et al. 1984b). Dieser Anteil hat sich aber, auch bei Einsatz der neuen Operationsverfahren in Jena, relativ gesehen fast verdoppelt. 12 der 17 operativ versorgten Patienten gaben bei Nachuntersuchungen Bewegungseinschränkungen an. Dies entspricht einem Anteil von 35,3 %. Allerdings muss bedacht werden, dass zum aussagekräftigen Vergleich eine Synchronisierung, und damit Vergleichbarkeit, der Abstände und Dokumentation der Nachuntersuchungen nötig wären.

Da dieser Umstand nicht vorliegt müssen diese Ergebnisse durchaus kritisch im Vergleich gesehen werden.

6.4 Die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) – Ein Erfolg?

In den letzten zwei Jahrzehnten kam es in der traumatologischen Kinderchirurgie zu einem Wechsel der Therapiestrategien. Dies geschah durch die wachsende Erkenntnis über Nachteile und Unannehmlichkeiten der konservativen Behandlung, wie lange Immobilisation und häufig auftretende Refrakturen. Es wurde vermehrt operativ minimalinvasiv therapiert (Jubel et al. 2004). Laut Literatur ist die ESIN Therapie der Wahl bei Frakturen der langen Röhrenknochen der oberen Extremität, die offen und / oder instabil disloziert sind (Knorr et al. 2005, Lieber et al. 2005, von Laer 2007, Weinberg et al. 2008, Berchthold 2008, Siewert 2006, Heune-Bruns 2008, Marzi 2010) und hat ab den 1990er Jahren die Plattenosteosynthese abgelöst (Mann et al. 2003). Bei supracondylären Oberarmbrüchen zeigt dieses Verfahren eine noch unzureichende Studienlage. Trotzdem wird sie schon als adäquate Alternative zur klassischen Kirschner-Drahtspickung beschrieben, da durch ein intramedulläres Vorgehen iatrogene Nervenschäden vermieden werden können (Eberl et al. 2010). Generell kann die intramedulläre Nagelung, durch ihren minimalinvasiven Zugang, auch schon bei Kleinkindern erfolgen. Besonders empfohlen wird die ESIN als Therapie der Wahl von dislozierten Unterarmfrakturen bei Kindern, die älter als 10 Jahre sind (Lascombes et al. 1990), denn ihre Knochen haben bereits ein geringeres Eigenkorrekturpotential und eine suffiziente Retention, wie sie mittels ESIN gewährleistet werden kann ist notwendig. Da die Intaktheit der *Membrana interossea* bei Unterarmfrakturen gewährleistet sein muss, ist die ESIN bei Monteggia-Frakturen durch Luxation des Radiusköpfchens nur bedingt anwendbar (Schmidt et al. 2008). Bei Trümmerfrakturen ist das Verfahren kontraindiziert (Mann et al. 2003), da durch die Instabilität der Frakturstücke die, für den Erfolg wichtige Technik der 3-Punkt-Abstützung, nicht gewährleistet werden kann (Oestern et al. 2000).

Der große Vorteil der elastisch-stabilen intramedullären Markraumschienung liegt in ihrer kindgerechten Anwendbarkeit. Es ist keine zusätzliche Schienung notwendig und der Arm kann sofort belastet werden (Weinberg et al. 2008). Der operative Eingriff kann einfach in der für ein Repositionsmanöver ohnehin notwendigen

Narkose durchgeführt werden. Dadurch können sekundäre Dislokationen, Nachrepositionen und Wegsschieben des Periosts verhindert werden (Richter et al. 1998). Außerdem führt dieses Verfahren zur Senkung des Refrakturrisikos bei, im Kindesalter so häufigen, Grünholzfrakturen (Weinberg et al. 2008). Auch die Materialentfernung ist einfach und kann in der Regel bereits nach 11-12 Wochen ambulant erfolgen (Richter et al. 1998, Mann et al. 2003).

Auch im untersuchten Jenaer Patientengut wurde die ESIN mit Erfolg verwendet. Bei 24 Frakturen von Patienten zwischen dem 6. und dem 15. Lebensjahr, darunter ein offener Knochenbruch, kam dieses Osteosyntheseverfahren zum Einsatz. In 50 % (n=12) der Fälle waren *Ulna* und *Radius* gleichzeitig betroffen, in vier Fällen die *Ulna*, je zwei Fälle betrafen *Humerus* und *Radius* und in einem Fall wurde das Verfahren bei einer supracondylären Fraktur angewendet. Als akute Begleitverletzung wurde in zwei Fällen eine *N. ulnaris*-Läsion beschrieben, die aber im Verlauf keine Klinik mehr zeigte.

Das Outcome der mit ESIN behandelten Patienten ist durchaus zufriedenstellend. Die Wertung von angegebenen Spätfolgen wie Sensibilitätsstörungen und Bewegungseinschränkungen ist in diesem Falle, wie in Kapitel 6.5.1 (Seite 78 f.) ausgeführt, über einen angemessenen Zeitraum nicht möglich. Die Patienten waren im Rahmen der Behandlung 2-5 Tage stationär untergebracht und die Metallentfernung wurde im Schnitt nach 1-2 Monaten vorgenommen.

So kann auch anhand des hier untersuchten Patientengutes ESIN als Therapieoption im Kindesalter empfohlen werden.

6.5 Limitationen der Datenanalyse

Die Schwierigkeit einer retrospektiven Datenanalyse zeigte sich in den limitierenden Umständen der Datenerfassung. Manche Patienten kamen gleich primär in die kinderchirurgische Ambulanz, andere erst nach Vorstellung und Erstversorgung bei einem niedergelassenen Kollegen oder in einem anderem Krankenhaus. Auch die Folgeuntersuchungen waren im Hinblick auf eventuelle Folgeschäden der Traumata und der Versorgung nicht immer lückenlos.

Des Weiteren fehlen einheitliche Standards in der Anamnesedokumentation. Auch die Entscheidung über Therapieoptionen ist fachärztlichem Ermessensspielraum unterlegen.

Grundlegend für die Varianz der dokumentierten Anamnesen kann auch sein, dass einerseits vom Patienten selbst, aufgrund seines Alters oder Bewusstseinszustandes, oder auch von seinen Angehörigen, nicht mehr Informationen gewonnen werden konnten. Andererseits ist es auch möglich, dass Teile der Anamnese, wie Unfallort oder Unfallhergang, soweit sie keine D-ärztliche Bedeutung hatten, vom Untersucher als nicht relevant gewertet wurden und so im Arztbrief fehlten.

Ebenfalls spielt die retrospektive Sicht dieser Studie eine entscheidende Rolle, denn so war es nicht möglich standardisierte Anamnese zur Datenerhebung zu nutzen.

Die Therapie wurde meist nach dem klinischen Bild und Sichtung des Röntgenbildes durch den Chirurgen eingeleitet, bevor ein endgültiger radiologischer Befund vorlag.

6.5.1 Fehlerquellen

Zusätzlich zu den oben genannten Limitationen in der Datenbeschaffung zeigten sich aber auch Schwierigkeiten bei deren Interpretation. Mehrmals wurden die Fälle in verschiedenen Ambulanzbriefen und auch im Vergleich zu Röntgenbefunden verschieden kodiert. In Einzelfällen war der Befund auch therapierelevant verschieden. So wurde in einem Fall aus einer zuerst diagnostizierten und konservativ ruhiggestellten supracondylären Fraktur im Radiologiebefund eine Radiusköpfchenluxation ohne Frakturzeichen und im Ambulanzbrief der Verlaufskontrolle lediglich eine Ellenbogengelenkprellung.

In einem anderen Fall wurde im Ambulanzbrief von einer mehrfragmentären *Olecranon*-Fraktur gesprochen, die sich aber röntgenologisch und auch im OP-Bericht beschrieben als Fraktur der proximalen *Ulna* und des proximalen *Radius* herausstellte.

Bei dem Auftreten von Spätfolgen wurden in der Mehrzahl der Fälle keine regelmäßigen Nachuntersuchungen dokumentiert. Daher ist in dieser Untersuchung der Anteil der Spätfolgen, insbesondere der Sensibilitätsstörungen und Bewegungseinschränkungen, unter Umständen zu hoch, da sich diese häufig im Laufe der Zeit zurückbilden. Wenn keine Nachkontrolle dokumentiert war, konnte diese Entwicklung also nicht in die Auswertung mit einfließen. Nicht alle Kinder wurden in der Klinik für Kinderchirurgie nachbetreut, was Grund für die uneinheitliche Dokumentation ist. Es wurde jeweils der letzte Behandlungsstand für die Auswertung genutzt.

Dies stellt ein durchaus schwerwiegendes Problem dar, welches aus verschiedenen Blickwinkeln heraus angegangen werden kann.

An erster Stelle steht die suffiziente Behandlung des Patienten. Da ist eine rasche Entscheidung für die eine oder andere Therapie besonders bei den kleinen Patienten in jedem Falle indiziert. Im Hinblick auf eventuell entstehende Spätfolgen, wie Fehlstellungen und Bewegungseinschränkung bei ungünstiger Konsolidation, sollte die Methode sehr effektiv, definitiv und so gering invasiv wie möglich sein.

Aus logistischer Sicht ist es aber nicht immer möglich sofort auf einen validierten Röntgenbefund zugreifen zu können, da sich Kinder mit Armbrüchen meist außerhalb der Hauptarbeitszeiten als Notfall vorstellen.

Aufgrund dieser Tatsachen ist es notwendig, dass besonders bei Fällen mit Frakturen im Ellenbogengelenkbereich, die Therapieentscheidung durch einen traumatologisch und radiologisch erfahrenen Kinderchirurgen getroffen wird.

Des Weiteren ist es empfehlenswert in der (Notfall-) Ambulanz und auch im stationären Alltag standardisierte, auf die Kinderchirurgie zugeschnittene Anamnesebögen zu verwenden, sowie ein Schema zur Bestellung zu Nachuntersuchungen der Frakturpatienten einheitlich festzulegen und einzuhalten.

Dies würde in Zukunft Untersuchungen mit deutlich detaillierteren Aussagen am Patientengut erlauben.

7. Schlussfolgerung

Die vorliegende Arbeit stellt die Auswertung von Armfrakturen im Kindesalter am Jenaer Krankengut vor. Das Ziel der retrospektiven Untersuchung sollte sein, Häufigkeiten, Altersverteilungen, Management von Knochenbrüchen am Arm sowie das Outcome dieser Patienten aufzuzeigen.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit lässt sich ersehen, dass besonders Jungen im Grundschulalter in Unfälle verwickelt sind, welche in Frakturen der oberen Extremität resultieren.

Alle Frakturarten kamen bei den behandelten Patienten vor. Den größten Anteil machten die Querfrakturen aus. Aber auch die für das Kindesalter typischen Brüche wie Grünholz- und Stauchungsbrüche sowie supracondyläre Frakturen, waren erwartungsgemäß und wie in der Literatur beschrieben (Weinberg et al. 2002, von Laer 2007) häufig vertreten. Der überwiegende Teil der Patienten konnte konservativ versorgt werden. Bei einem Anteil von 17 % war operatives Vorgehen angezeigt. Dabei kamen vor allem kindgerechte und möglichst minimalinvasive Verfahren zum Einsatz.

Das Outcome stellte sich durchaus zufriedenstellend dar. In 17 % der Fälle traten Spätfolgen nach der Behandlung, sowohl konservativer sowie auch operativer, auf. Der Beobachtungszeitraum ist, aus den in Kapitel 6.5.1 (Seite 78 f.) dargestellten Gründen, nicht immer gleich lang.

Zum großen Teil traten die Spätfolgen in Form von Bewegungseinschränkungen auf, welche, über einen längeren Zeitraum gesehen, mit großer Wahrscheinlichkeit bei regelmäßiger alltäglicher Beanspruchung selbstständig regredient sind (Zionts et al. 2009).

Der Vergleich mit einer ähnlichen Untersuchung aus den 1970er Jahren zeigte eine Persistenz des typischen Patientengutes im Bezug auf die Häufigkeiten und Altersverteilung. Lediglich in der Örtlichkeit des Unfallgeschehens zeigten sich Veränderungen. Damals geschahen die Unfälle zumeist beim Spielen draußen in der Freizeit, heute hingegen zu größeren Anteilen im Haushalt oder (Vereins-)Sport.

Die Indikation zur operativen Therapie wird in Jena heute deutlich häufiger gestellt. Unter den Osteosyntheseverfahren nimmt die ESIN heute einen wichtigen Platz ein. In dieser aktuellen Untersuchung traten zwar häufiger als bei anderen Verfahren

Bewegungseinschränkungen bei den Patienten auf, doch, wie schon in Kapitel 6.5.1 (Seite 78 f.) erörtert, muss dieser Vergleich auch kritisch angestellt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vorliegende Arbeit die Empfehlung der elastisch-stabilen intramedullären Nagelung als operative Therapieoption von anderen Arbeiten (Knorr et al. 2005, Lieber et al. 2005, Weinberg et al. 2008) unterstützt.

Um in Zukunft ähnliche Untersuchungen an der Klinik für Kinderchirurgie in Jena zu ermöglichen, sollten, im Hinblick auf die Befunderhebung und –dokumentation, einheitliche Standards festgelegt werden, um aussagekräftige Ergebnisse zu ermöglichen.

Außerdem ist es wichtig, bei auftretenden Spätfolgen in definierten Abständen Nachkontrollen zu veranlassen um die Behandlungsmethoden wirklich vergleichend evaluieren zu können.

Literaturverzeichnis

Anhang

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Bürglen
Vorname: Franziska Regine
Geburtstag: 26.06.1984
Geburtsort: Finsterwalde
Anschrift: Händelweg 30, 07743 Jena, franziskabuerglen@hotmail.com
Nationalität: deutsch
Familienstand: ledig, keine Kinder
Eltern: Dipl.- Ing. Friedrich Bürglen,
Dr. rer. nat. Beate Bürglen

Schulbildung: 08/95 – 06/03 Christliches Gymnasium, Jena
2003 Abitur

Universität: 2004-2011 Studium der Humanmedizin an der Friedrich-Schiller- Universität Jena
2006 1. Abschnitt der ärztlichen Prüfung (Physikum)
2011 2. Abschnitt der ärztlichen Prüfung

Praktisches Jahr: 02/10 – 06/10 PJ Terial Radiologie/ Kinderradiologie, Uniklinikum Jena
06/10 – 10/10 PJ Terial Innere Medizin/ Kardiologie, St. Nepomuk Krankenhaus, Erfurt
10/10 – 01/11 PJ Terial Kinderchirurgie und Unfallchirurgie, Uniklinikum Jena

Auslandsaufenthalte: 09/03 – 07/04 Teaching Assistant, International School of the Regents, Bangkok/ Pattaya in Thailand
02/09 – 03/09 Famulatur an der Chulalongkorn Universität Bangkok/ Thailand, Gynäkologie/ Geburtshilfe

Sonstige Tätigkeiten: 03/09 – 07/09 Tutorin im Nahtkurs für Studenten
10/10 – 05/11 Wissenschaftliche Hilfskraft als Tutorin im Sonographie-Kurs für Studenten
2005 – 2010 Aushilfsjob, Danny Shoes Jena

Sprachkenntnisse: Englisch, fließend
Französisch, Grundkenntnisse
Thai, Grundkenntnisse

Hobbies: Joggen, Yoga, Reisen, Malen/ Musizieren

Danksagung

Im Zuge der Erstellung der vorliegenden Disseration unterstützten mich Menschen mit Ihrer Motivation und Begeisterung. Diesen möchte ich meinen tiefsten Dank aussprechen.

Ich danke meiner Betreuerin und Mentorin Prof. Dr. Felicitas Eckoldt-Wolke und dem gesamten Team der kinderchirurgischen Station 510 der Uniklinik Jena sowie meiner Familie und meinen Freunden, die mich durch den ganzen Entstehungsprozess geleiteten und für Fragen und Probleme immer ein offenes Ohr hatten.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Prof. Dr. med. Felicitas Eckoldt-Wolke,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, 20.12.2011

Franziska Bürglen